



**UNIVERSIDAD DE ESPECIALIDADES ESPIRITU SANTO**

**FACULTAD DE ARQUITECTURA**

**ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL**

**DISEÑO DE UN ROMPEOLAS USANDO TETRÁPODOS PARA LA  
PROTECCIÓN DE PUERTO BAQUERIZO MORENO (GALAPAGOS)**

**Trabajo de Investigación que se presenta como requisito para la obtención del**

**título de**

**Ingeniero Civil**

**Autor: Samantha Paola Zavala Sotomayor**

**Tutor: Ing. Alex Villacres Sánchez, M.Sc.**

**Samborondón, 2019**

## **CERTIFICACIÓN FINAL DE APROBACIÓN DEL TUTOR**

En mi calidad de tutor de la estudiante **Samantha Paola Zavala Sotomayor**, que cursa estudios en la escuela de Ingeniería Civil, dictado en la Facultad de Arquitectura de la UEES.

### **CERTIFICO:**

Que he revisado el trabajo de tesis con el título: **DISEÑO DE UN ROMPEOLAS USANDO TETRÁPODOS PARA LA PROTECCIÓN DE PUERTO BAQUERIZO MORENO (GALÁPAGOS)**, presentado por la estudiante Samantha Paola Zavala Sotomayor con cédula de ciudadanía N°. 2000080875, como requisito previo para optar por el Grado Académico de Ingeniero Civil, y considero que dicho trabajo investigativo ha incorporado y corregido las sugerencias y observaciones solicitadas por los miembros del tribunal, por lo tanto, reúne los requisitos y méritos suficientes necesarios de carácter académico y científico, para presentarse a la Sustentación Final.

Tutor: Ing. Alex Villacres Sánchez, M.Sc.

Samborondón, Enero 2019

## **AGRADECIMIENTOS**

Agradezco a mis padres, Franklin y Paola, por su amor y apoyo incondicional en el proceso de mi formación académica, que se evidencia con la finalización de este trabajo.

A mis hermanos y primos que son parte del proceso de mi carrera estudiantil, siempre con su apoyo e impulso constante.

Al ingeniero Alex Villacres por su tutela y orientación en la realización de este trabajo de grado.

A mis amigos y compañeros, quienes me han acompañado en mis años de vida universitaria.

Finalmente dedicar las últimas palabras a todas las personas que influyeron en mí para lograr el objetivo de ser Ingeniera Civil.

## índice

<b>Capítulo I.....</b>	<b>10</b>
<b>1. Generalidades.....</b>	<b>10</b>
1.1.Introducción.....	10
1.2. El problema.....	13
1.2.1. Antecedentes.....	13
1.2.2. Planteamiento del problema.....	14
1.3.Objetivo general.....	15
1.4.Objetivos específicos.....	15
1.5.Justificación.....	15
<b>Capítulo II.....</b>	<b>16</b>
<b>2. Área de estudio.....</b>	<b>16</b>
2.1. Delimitación.....	16
2.2. Características locales.....	16
2.3. Localización del rompeolas.....	18
2.4. Criterios ambientales y legales.....	19
2.5. Antecedentes de los tetrápodos.....	22
2.6. Ventaja del uso de tetrápodos.....	23
<b>Capítulo III.....</b>	<b>25</b>
<b>3. Marco teórico.....</b>	<b>25</b>
3.1. Generalidades.....	25
3.2. Oceanografía.....	25
3.2.1. Corrientes.....	26
3.2.2. Oleaje.....	26
3.2.3. Mareas.....	27

3.2.4. Sedimentos.....	28
3.2.5. Nivel del mar.....	29
3.3. Obras de protección marítima.....	30
3.3.1. Muros marinos, mamparos y revestimientos.....	31
3.3.2. Espigón.....	33
3.3.3. Embarcadero.....	33
3.3.4. Rompeolas conectado a la costa.....	34
3.3.5. Rompeolas fuera de la costa .....	34
3.4. Altura de ola .....	35
3.5. Diseño estructural.....	35
3.5.1. Sección de rompeolas.....	35
3.5.1.1. Núcleo.....	36
3.5.1.2. Filtro .....	36
3.5.1.3. Coraza.....	36
3.6. Análisis de estabilidad.....	36
3.7. Refracción, difracción y reflexión del oleaje.....	37
3.8. Diseño funcional.....	38
<b>Capítulo IV.....</b>	<b>39</b>
<b>4. Cálculos y resultados.....</b>	<b>39</b>
4.1. Metodología de cálculo.....	39
4.2. Análisis de cálculo.....	43
4.2.1. Peso de los tetrápodos.....	44
4.2.2. Peso de los elementos del filtro.....	44
4.2.3. Peso de los elementos del núcleo.....	44
4.2.4. Dimensiones de los tetrápodos.....	44

4.2.5. Espesor mínimo de la coraza.....	45
4.2.6. Espesor mínimo del filtro.....	45
4.2.7. Elementos de la coraza por área .....	45
4.3. Análisis de verificación .....	46
4.4. Metodología constructiva.....	48
4.5. Fabricación del tetrápodo.....	51
<b>Capítulo V.....</b>	<b>53</b>
5.1. Mantenimiento de la estructura.....	53
5.2. Estimación de costos.....	53
5.3. Cantidades involucradas y precios unitarios.....	54
5.4. Aprovechamiento de material .....	56
<b>Capítulo VI.....</b>	<b>57</b>
<b>6. Conclusiones y recomendaciones.....</b>	<b>57</b>
6.1. Conclusiones.....	57
6.2. Recomendaciones.....	57
<b>Capítulo VII.....</b>	<b>58</b>
7. Referencias.....	58
<b>Capítulo VIII.....</b>	<b>60</b>
<b>8. Anexos.....</b>	<b>60</b>
<b>Dimensión de tetrápodos de 1,82 Toneladas.....</b>	<b>61</b>
<b>Dimensión de tetrápodos de 0,75 Toneladas.....</b>	<b>62</b>
<b>Sección longitudinal del rompeolas.....</b>	<b>63</b>
<b>Cortes transversales.....</b>	<b>64</b>
<b>Corte A-A.....</b>	<b>64</b>
<b>Corte B-B.....</b>	<b>65</b>

Corte C-C.....	66
Corte D-D.....	67
Corte 01-01.....	68
Corte 02-02.....	69
Corte 03-03.....	70
Corte 04-04.....	71
Corte 05-05.....	72
Corte 06-06.....	73
Corte 07-07.....	74
Corte 08-08.....	75
Corte 09-09.....	76
Corte 1-1.....	77
Corte 2-2.....	78
Corte 3-3.....	79
Corte 4-4.....	80
Corte 5-5.....	81
Corte 6-6.....	82
Corte 7-7.....	83
Corte 8-8.....	84
Corte 9-9.....	85
Corte 10-10.....	86
Corte 11-11.....	87
Corte 12-12.....	88
Corte 13-13.....	89
Corte 14-14.....	90

Corte 15-15.....	91
Corte 16-16.....	92
Corte 17-17.....	93

### Índice de figuras

Figura 1: Mapa de las islas Galápagos.....	16
Figura 2: Puerto Baquerizo Moreno.....	17
Figura 3: Representación de la cantera Cerro Quemado en el puerto.....	18
Figura 4: Localización del rompeolas dentro de Bahía Wreck.....	19
Figura 5: Mapa de las islas Galápagos donde se muestran los sitios de extracción de material pétreo.....	20
Figura 6: Sección de carta náutica de Puerto Baquerizo Moreno.....	25
Figura 7: Ilustración del oleaje proveniente del NO arribando a Puerto Baquerizo Moreno.....	27
Figura 8: Rango de mareas de la estación de la Isla San Cristóbal.....	28
Figura 9: Muros marinos.....	31
Figura 10: Mamparos.....	32
Figura 11: Revestimientos.....	32
Figura 12: Espigón.....	33
Figura 13: Rompeolas fuera de la costa.....	35
Figura 14: Diagrama de difracción del oleaje.....	38
Figura 15: Dimensiones de tetrápodos.....	40
Figura 16: Sección de rompeolas donde se muestra longitud y ancho de coraza.....	46

<b>Figura 17: Imagen de Puerto Baquerizo Moreno, donde se señala el camino de la mina al centro de acopio de tetrápodos.....</b>	<b>49</b>
<b>Figura 18: Colocación de tetrápodos con grúa.....</b>	<b>50</b>
<b>Figura 19: Tetrápodos en dos capas entrelazados.....</b>	<b>51</b>
<b>Figura 20: Molde de tetrápodos.....</b>	<b>51</b>

### Índice de tablas

<b>Tabla 1: Razón de peso de elementos del rompeolas.....</b>	<b>40</b>
<b>Tabla 2: Fórmulas para dimensionar tetrápodos.....</b>	<b>41</b>
<b>Tabla 3: Cálculo de peso de los tetrápodos.....</b>	<b>44</b>
<b>Tabla 4: Dimensiones reales de los tetrápodos de diseño.....</b>	<b>44</b>
<b>Tabla 5: Dimensiones reales de los tetrápodos de diseño.....</b>	<b>44</b>
<b>Tabla 6: Cálculo de espesores mínimos de coraza.....</b>	<b>45</b>
<b>Tabla 7: Cálculo del espesor mínimo del filtro.....</b>	<b>45</b>
<b>Tabla 8: Cálculo de número de tetrápodos por área.....</b>	<b>45</b>
<b>Tabla 9: Verificación de los cortes A-A a D-D.....</b>	<b>47</b>
<b>Tabla 10: Número total de tetrápodos.....</b>	<b>48</b>
<b>Tabla 11: Costos de materiales, maquinarias y mano de obra, en Galápagos.....</b>	<b>55</b>
<b>Tabla 12: Costos de materiales, maquinarias y mano de obra, en la provincia del Guayas.....</b>	<b>56</b>

## CAPÍTULO I

### 1. Generalidades

#### 1.1. Introducción

La protección costera es una actividad humana que surgió desde que el hombre adquirió, por medio de herramientas y obras simples, la capacidad de proteger el espacio que lo circunda para su propio beneficio. Muchos puertos costeros alrededor del mundo son favorecidos al presentar una protección natural en forma de rompeolas, escolleras, entre otros. Sin embargo, existen puertos costeros que necesitan la intervención del hombre para la construcción de obras de protección costera para el mejoramiento de la calidad de vida y desarrollo socioeconómico del país.

Cuando los sistemas de protección natural fallan durante grandes tormentas, la primera solución elegida frecuentemente son métodos quasi-naturales como sustento de una playa o estructuras de dunas de arena artificial. Tales soluciones conservan la playa como un disipador muy efectivo de la energía de las olas y la duna como una última línea de defensa flexible. Sin embargo, incluso estos métodos proporcionan solo una solución temporal a la erosión crónica a largo plazo. Cuando las fuerzas naturales crean erosión, las olas de tormenta pueden sobrepasar la playa y dañar las estructuras de la costa. Las estructuras hechas por el hombre deben ser construidas para proporcionar protección. En general, las medidas diseñadas para estabilizar la costa se dividen en dos categorías: (1) Estructuras para evitar que las olas alcancen el área de un puerto, tales como rompeolas, muros marinos, mamparos, revestimientos, y (2) Estructuras artificiales, como espigones y embarcaderos, utilizados para retardar el transporte costero de la deriva litoral. (Shore Protection Manual, 1984 p. 17)

Un rompeolas deberá de ser capaz de resistir las fuerzas producidas por el oleaje y proveer un área de refugio contra la acción de las olas. Esta protección podrá ser aprovechada por embarcaciones, hábitats y la población en general. (Ortega, 2010 p. 25)

Para diseñar y construir un rompeolas, se deben tomar en cuenta varios factores como: la geografía del área, condiciones climatológicas, condiciones oceanográficas (corrientes, mareas, oleaje, batimetrías, sedimentos). El criterio de diseño se fundamenta esencialmente en fórmulas que determinan pesos y tamaños apropiados de la roca, las cuales debidamente apiladas, garantizan la estabilidad del mismo. Los rompeolas se pueden construir con varias configuraciones usando madera, acero, concreto y se clasifican como alto o bajo, largo o corto.

Hoy en día, los materiales más usados en la creación de un rompeolas son unidades pre fabricadas de concreto en distintos tamaños y formas como: dolos, tetrápodos, acrópodos, entre otras. Los resultados de utilizar estos elementos en el diseño del rompeolas han sido positivos en diferentes partes del mundo, ya que funcionan de una mejor manera disipando el oleaje. Las obras de protección costera en nuestro país son cada vez más comunes, ya que prometen impulsar el desarrollo de las actividades marítimas y fluviales optimizando los servicios en los puertos.

Esta investigación propone diseñar un rompeolas en la región insular o Galápagos, en la isla San Cristóbal, específicamente en Puerto Baquerizo Moreno. En las islas Galápagos, al ser un Parque Nacional y Patrimonio Natural de la Humanidad, los criterios de construcción en el área son estrictos, con el fin de preservar la flora y fauna.

Las islas, al ser de origen volcánico, presentan grandes cantidades de roca basáltica las cuales tienen buenas propiedades de resistencia a la compresión y un peso óptimo para construir un rompeolas. Sin embargo, las minas existentes solo presentan material pétreo de pequeño diámetro, por lo que se necesitaría buscar tales rocas en zonas sin explotar.

Pero, la extracción de este tipo de roca en tales cantidades y tamaños crearía un impacto en los ecosistemas, además de que la extracción de las mismas sería una tarea muy difícil y costosa debido a la falta de área urbana en zonas vírgenes. Asimismo, transportar rocas de gran magnitud y peso desde Ecuador continental a las islas, tampoco es una opción viable dado a

que el transporte incrementaría considerablemente los costos de la obra, y lo más importante es que se daría apertura a que especies invasoras ingresen a aquellos ecosistemas frágiles.

Por tales razones, los materiales pre fabricados de hormigón, son la mejor opción para este diseño de rompeolas.

Una gran ventaja de utilizar elementos pre fabricados, es que, al ser elaborados en una planta, su tamaño y peso pueden ser controlados a conveniencia. También, estas piezas de concreto presentan gran estabilidad contra el oleaje incidente, debido a que al estar entrelazadas entre sí, absorben la energía de manera eficaz. Estos elementos pre fabricados se han desarrollado en virtud de que en algunas ocasiones, dada la carencia de roca en las proximidades de la obra, es preferible construirlas.

El propósito de esta estructura es disminuir la intensidad local del oleaje y la velocidad de la corriente paralela a la costa propiciando la minimización del impacto, (mar de fondo). Cabe hacer mención que esta estructura no aumentará la cantidad de arena en movimiento del sistema, sino que simplemente garantizará el menor desgaste costero y del inmueble. De igual manera el rompeolas deberá poder resistir las olas y condiciones meteorológicas severas y debe ser construido con el impacto mínimo sobre el medioambiente.

## **1.2. El problema**

### **1.2.1. Antecedentes**

Según el último censo en año 2015 realizado por el Instituto Nacional de Estadística y Censos (INEC), Galápagos cuenta con una población total de 25.244 habitantes, distribuidos en cuatros islas. La isla San Cristóbal tiene una población de 7.199 habitantes, divididos en zona urbana y zona rural.

Los habitantes en la isla, obtienen los víveres necesarios y artículos de primera necesidad mediante buques de carga provenientes del continente, los cuales arriban a la isla cada semana. Puerto Baquerizo, también conocido por ser el puerto pesquero en la región, cuenta con una flota pesquera dividida en pangas, fibras y botes, sumando un total de 122 (Zapata, 2006).

Otro de los sectores productivos del puerto es el área del turismo, para lo cual cuenta con barcos estilo crucero y barcos de menor magnitud para navegación dentro de la rada.

En registro desde el año 2011, hubo olas entre dos y tres metros de altura que causaron complicaciones en la isla San Cristóbal, produciendo deterioro en la zona urbana, cubriendo muelles y calles. Las embarcaciones pequeñas situadas dentro de la bahía también presentan daños al golpearse entre sí, o al no resistir el anclaje, quedan a la deriva. Los grandes barcos y buques se excluyen del daño, debido a que estos deben anclarse lejos de la bahía.

Según la Capitanía de Puerto Baquerizo Moreno, este oleaje fuerte se produce al haber una coincidencia de un oleaje con el aguaje, el cual dura un mínimo de tres días.

En el año 2011, el INOCAR dio alerta a la comunidad de un oleaje, pero nunca se estimó que sería de gran magnitud. Los daños generados tras el oleaje fueron en tal proporción, que la Secretaría Nacional de Gestión de Riesgo, tuvo que intervenir con los gastos para reparación de muelles y de la zona del malecón, en un costo estimado de 50.000 dólares. (Productor, 2011)

En el año 2015, según informes del servicio de emergencias ECU 911 de Galápagos, el oleaje causó el hundimiento de una lancha de fibra de vidrio que se encontraba anclada frente a la costa de San Cristóbal, asimismo, afectó el malecón de la localidad, levantando adoquines, destruyendo barandales y llenando las calles de escombros de tierra. (Comercio, 2015)

### **1.2.2. Planteamiento del problema**

El problema principal que presenta Puerto Baquerizo Moreno, es la presencia de olas entre dos y tres metros de altura arribando al puerto, este fenómeno se produce por condiciones meteorológicas del sitio como mareas, oleajes, agujajes; especialmente al coincidir un fenómeno de oleaje con un agujaje.

Las consecuencias de determinado oleaje, producen molestias en los habitantes de las islas y visitantes. Entre las consecuencias se encuentran: deterioro del malecón y obras portuarias como muelles, daños en embarcaciones de menor calado, gastos en reconstrucción del puerto y gastos en reparaciones de embarcaciones afectadas.

Con el diseño del rompeolas, se propone minimizar el problema, así como las consecuencias producidas por el mismo, debido a que el rompeolas reduciría la acción de las olas en el puerto, y por tanto se eliminaría el impacto económico sobre los habitantes; de igual manera, al encontrarse el puerto protegido por el rompeolas, la comunidad podrá disfrutar de una mejor calidad de vida y seguridad.

Para poder cumplir con el pronóstico esperado con el diseño del rompeolas, se deberán tener en cuenta ciertas variables importantes como son: marea (conocer los valores en bajamar y pleamar), vientos (dirección del viento en distintas épocas del año), corrientes (dirección de las corrientes en época seca y época lluviosa), olas (dirección y altura de las olas), entre otros.

### **1.3. Objetivo general**

Desarrollar una propuesta de diseño de un rompeolas para la protección del puerto contra un oleaje máximo, mediante la utilización de materiales de concreto pre fabricados llamados tetrápodos.

### **1.4. Objetivos específicos**

- Ubicar al rompeolas en el lugar más conveniente para mayor protección del puerto.
- Analizar la cartografía del sitio, condiciones meteorológicas y medio ambientales del lugar.
- Diseñar elementos principales de un rompeolas y los elementos de concreto (tetrápodos).
- Analizar costos de materiales, mano de obra y maquinaria en Galápagos y Guayas.

### **1.5. Justificación**

Los colonos de la isla San Cristóbal que habitan en Puerto Baquerizo Moreno, han sido afectados por muchos años por este fenómeno de oleaje, lo que produce que su calidad de vida decline, al ser perjudicada por daños en infraestructura urbana y bienes materiales.

Con la presente investigación, se busca desarrollar un diseño de un rompeolas que proteja el puerto para satisfacer la necesidad de seguridad en la isla y sus habitantes, y que se encuentre acorde a la realidad económica y ambiental del sector.

Se puede agregar que la inversión monetaria de este proyecto se recompensaría con los gastos invertidos año tras año en reparaciones y reconstrucciones del puerto y embarcaciones.

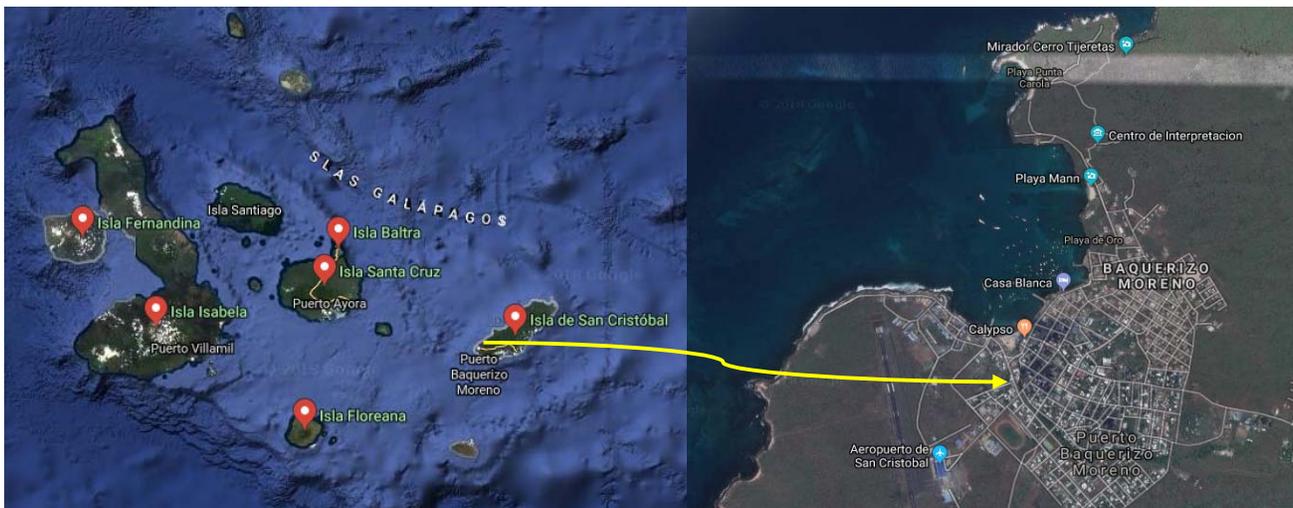
La construcción de una obra portuaria para proteger el puerto es una opción factible para el presente problema. Entre los diversos tipos de obras portuarias, la mejor alternativa recae en un rompeolas para proteger la zona. Así mismo, se deberá seleccionar entre las distintas tipologías de rompeolas, el más conveniente según los recursos naturales que presenta el puerto.

## CAPÍTULO II

### 2. Área de estudio

#### 2.1. Delimitación

La región Insular o Galápagos, situada a 972 km al oeste de la costa ecuatoriana, está conformada por 19 islas y otros 215 islotes, entre las cuales solo cuatro de las islas se encuentran habitadas. En este último grupo está incluida la isla San Cristóbal, con su puerto denominado Puerto Baquerizo Moreno, ilustrado en la siguiente figura:



**Figura 1.: Mapa de las islas Galápagos (imagen izquierda), seleccionando la isla San Cristóbal (flecha amarilla), destacando Puerto Baquerizo Moreno (imagen derecha).**

#### 2.2. Características locales

Puerto Baquerizo Moreno es la cabecera cantonal de San Cristóbal y la capital política de Galápagos. La isla está ubicada en la parte suroeste del archipiélago, siendo la más próxima al continente. Es centro de las actividades productivas del cantón y presenta un Eco malecón, el cual es la primera imagen del puerto. Además, cuenta con cuatro muelles destinados a

diferentes actividades, localizados dentro de su bahía denominada Bahía Wreck o Bahía Naufragio.

Bahía Naufragio es la principal bahía existente en la isla San Cristóbal, desde esta bahía los buques zarpan y arriban a la capital de la provincia, Puerto Baquerizo Moreno. (INOCAR, 2011)

Puerto Baquerizo Moreno tiene una superficie de 109,6 km<sup>2</sup>, contiene una cantera ubicada a 1 km aproximadamente de la costa, de nombre Cerro Quemado, de la cual se obtiene el material pétreo utilizado en la construcción.



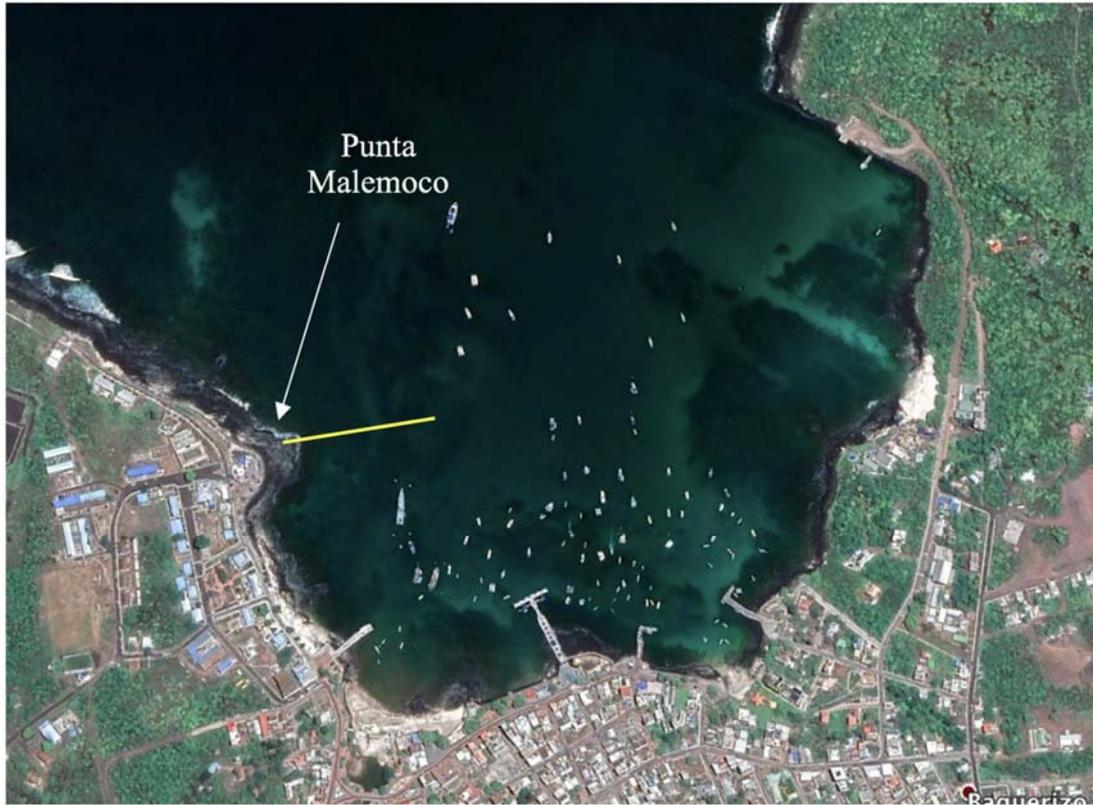
**Figura 2.: Imagen de Puerto Baquerizo Moreno donde se muestra su bahía, los muelles (marcados con un círculo: amarillo corresponde al muelle de la Armada, rojo corresponde al muelle de carga, morado corresponde al muelle turístico de pasajeros y negro corresponde al muelle de pescadores) y el malecón (línea celeste).**



**Figura 3: Representación de la cantera Cerro Quemado en Puerto Baquerizo Moreno.**

### **2.3.Localización del rompeolas**

De la localización del rompeolas dependerá la eficacia de la protección del puerto contra el oleaje, ya que además de proteger a la bahía en sí, se propone proteger a una determinada área del malecón la cual resulta más afectada tras dicho fenómeno. El rompeolas se implantará en Punta Malemoco, conformada por una escollera natural de la cual es posible aprovechar su formación para la colocación del rompeolas.



**Figura 4: Localización del rompeolas dentro de Bahía Wreck.**

#### **2.4. Criterios ambientales y legales**

La construcción de un rompeolas puede provocar alteraciones significativas del entorno terrestre y marítimo relacionadas con la apertura y explotación de canteras, el transporte y vertido de materiales de construcción, o con la remoción y vertido de productos de dragado. (Dominguez, 2010 p. 66)

En el archipiélago hay tres minas en áreas protegidas. Dos en Santa Cruz y una en Isabela. Además, hay una en terrenos privados en San Cristóbal. También hay un sitio de extracción pequeño en Floreana. El principal material pétreo que se extrae de las minas es el granillo, el cual se lo utiliza para la ejecución de obras de infraestructura para beneficio social y un porcentaje menor para construcciones privadas. (ElUniverso, 2018)



**Fig. 5: Mapa de las islas Galápagos donde se muestran los sitios de extracción de material pétreo. Fuente: El Universo.**

La Dirección del Parque Nacional Galápagos controla la extracción y explotación de la minas con la emisión de permisos a personales naturales y jurídicas, a través del permiso de extracción de materiales pétreos y el pago de la tasa por instalación de trituradoras y cortadoras. (Pi, 2016)

En San Cristóbal existen dos minas las cuales no se encuentran en zona protegida. Una de las minas está en la zona urbana y es manejada por la Armada Nacional y una parte por el Municipio, mientras la otra es privada.

Para construir en Galápagos, las entidades pertinentes al proyecto, deberán registrarse bajo las siguientes normativas legales:

Ley de Gestión Ambiental:

Art. 19.- Las obras públicas, privadas o mixtas, y los proyectos de inversión públicos o privados que puedan causar impactos ambientales, serán calificados previamente a su

ejecución, por los organismos descentralizados de control, conforme el Sistema Único de Manejo Ambiental, cuyo principio rector será el precautelatorio.

Art. 24.- En obras de inversión públicas o privadas, las obligaciones que se desprendan del sistema de manejo ambiental, constituirán elementos del correspondiente contrato. La evaluación del impacto ambiental, conforme al reglamento especial será formulada y aprobada, previamente a la expedición de la autorización administrativa emitida por el Ministerio del ramo.

De la participación ciudadana:

Art. 32 Del Plan de Manejo Ambiental. - El Plan de Manejo Ambiental consiste de varios sub- planes, dependiendo de las características de la actividad o proyecto. El Plan de Manejo Ambiental contendrá los siguientes sub planes, con sus respectivos programas, presupuestos, responsables, medios de verificación y cronograma.

- a) Plan de Prevención y Mitigación de Impactos;
- b) Plan de Contingencias;
- c) Plan de Capacitación;
- d) Plan de Seguridad y Salud ocupacional;
- e) Plan de Manejo de Desechos;
- f) Plan de Relaciones Comunitarias;
- g) Plan de Rehabilitación de Áreas afectadas;
- h) Plan de Abandono y Entrega del Área;
- i) Plan de Monitoreo y Seguimiento.

## **2.5. Antecedentes de tetrápodos**

La mayoría de rompeolas son del tipo de los montones de escombros, debido a las buenas propiedades hidráulicas de este tipo de diseño; la pendiente hacia el mar, la rugosidad y la "porosidad" de sus caras son generalmente tales que aseguran la destrucción gradual de la energía de las olas.

Sin embargo, los diseños de rompeolas típicos varían considerablemente en sus características esenciales. Siguiendo un estudio de una cantidad numerosa de diseños de este tipo, se ha intentado, por investigaciones sistemáticas, determinar diferentes maneras de mejorar las propiedades de los rompeolas tradicionales, especialmente respecto a las siguientes variables: (Danel, et al., 1962 p. 469)

Propiedades hidráulicas: estabilidad de los componentes de coraza, fuerza de la estructura como un todo, reducción del rebase de las olas, reducción de reflexión de las olas.

Cobertura estructural: limitación de peso de unidad de material, conveniente material pre fabricado, más sencillo posicionamiento de bloques, reducción de uso de transporte marítimo al mínimo.

Aspectos financieros: reducir costos al mínimo.

Entre diferentes técnicas de diseño de rompeolas con diferentes materiales pre fabricados, una forma en particular se destaca por su característica de proporcionar estabilidad en armaduras: el tetrápodo.

El tetrápodo es un elemento de hormigón compuesto de cuatro pies troncónicos de ejes concurrentes dispuestos simétricamente de manera que los centros de sus bases constituyen los vértices de un tetraedro. La aplicación de tetrápodos en las obras marítimas de protección es reciente. Su desarrollo tuvo origen en el "Etablissements Neyrpic's Laboratoire Dauphinois d'Hydraulique" en Grenoble, Francia, como resultado de una serie de ensayos con modelos hidráulicos, que permitían observar el mecanismo de ataque de las olas sobre obras marítimas

de escolleras. Las investigaciones se llevaron a cabo a raíz de las conclusiones a que llegó el Congreso Internacional de Navegación celebrado en 1949. En esa oportunidad se dio importancia a la idea de que la fuerza o empuje de las olas podría aniquilarse parcialmente por si misma a través de una construcción con una red de espacios huecos, dividiendo el gran cuerpo atacante del agua en numerosas corrientes turbulentas y pequeñas con distinta dirección de empuje. (Ossa, 1964)

Esta particular forma del elemento, permite construir revestimientos toscos, debido a su alta porosidad (50% de vacíos), las presiones o empujes hacia arriba no afectan la estructura, y cuando se coloca en una pendiente muy pronunciada, son capaces de atenuar el oleaje de gran altura. De modo idéntico, con su forma relativamente compacta, presenta secciones de transición entre las “piernas” y el “cuerpo”, lo que le da una fuerza considerable; también según pruebas el refuerzo de acero es innecesario en la creación de la pieza, lo que es una gran ventaja para una obra con destino marítimo. (Danel, et al., 1962)

En nuestro país el uso de elementos pre fabricados para construir obras de protección portuaria no ha sido utilizado hasta el presente día, por consiguiente, este método de diseño resulta innovador y novedoso en el medio.

## **2.6. Ventajas del uso de tetrápodos**

- No contaminan al estar constituidos mayoritariamente de material inerte.
- Estabilizadores de corrientes al impacto en periodo de marejadas.
- No hay alteración o efectos secundarios a zonas vecinas pues son elementos disipadores y no direccionadores.
- Al haber mayor área de contacto sub-acuática facilita el establecimiento de nuevas especies acuáticas.

- Crea refugios a la fauna marina por tal motivo son considerador para generar arrecifes artificiales.
- Estabilizador de taludes y terrenos ganados al mar al incrementar el ángulo de reposo de la plataforma o coraza.
- Durabilidad a los agentes naturales por largo periodo (años).

(Jaramillo, 2015)

## CAPÍTULO III

### 3. Marco teórico

#### 3.1. Generalidades

La ruta de acceso a la rada, evidencia un canal navegable bien definido; desde el veril de los 50 metros hasta el veril de los 20, la gradiente es aproximadamente de 9.5 %; desde este veril, hasta el veril de los cinco metros, la gradiente es de aproximadamente de 1.2 %; estos valores de gradiente corresponden a los cambios de profundidad en el eje central del canal. El veril de los cinco metros se ubica paralelo a la costa a una distancia promedio de 140 metros; siendo su distancia más corta frente a Punta Predial con poco más de 30 metros, y la distancia más lejana al oeste de Punta Malemoco, con un poco más a 400 metros. (INOCAR, 2011)

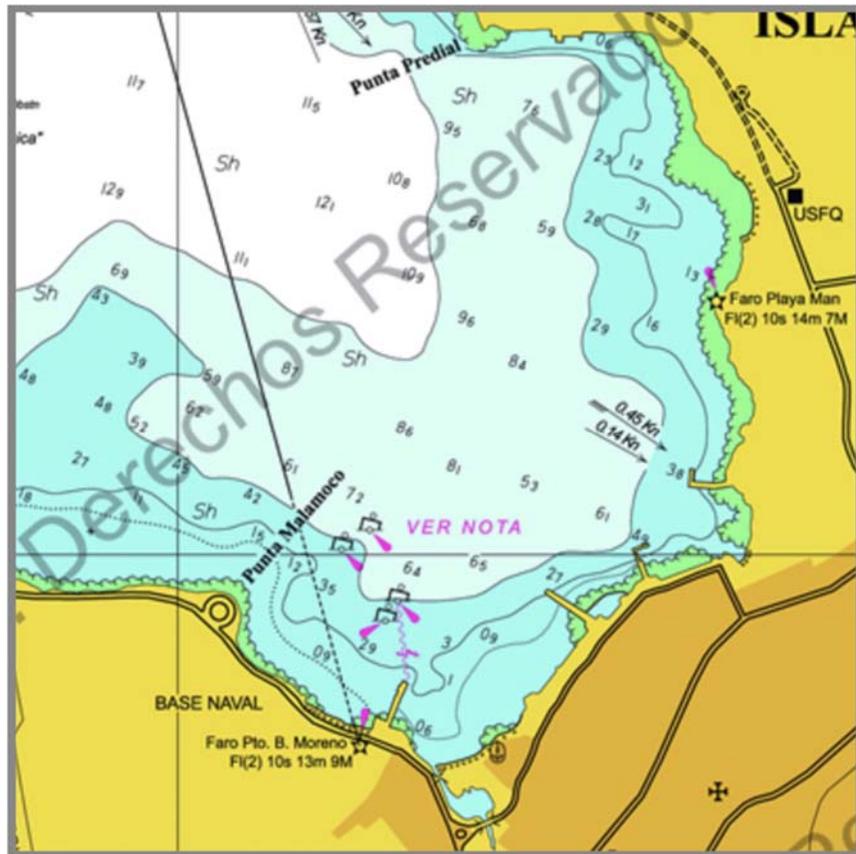


Figura 6: Sección de carta náutica de Puerto Baquerizo Moreno.

#### 3.2. Oceanografía

### **3.2.1. Corrientes**

Las corrientes pueden ser producidas por la acción del viento, la variación de mareas y el oleaje. En ocasiones llegan a ser oscilatorias. Sus efectos en las obras marítimas son determinantes para el proyecto de éstas. (Macdonel, et al., 2008)

Las corrientes en este sector para la época seca, es decir de julio a noviembre, predominan con rumbo oeste-suroeste con fuerza oscilante entre 0,31 m/s y 0,81 m/s y en la época lluviosa, es decir de diciembre a junio, oscilan entre 0,54 m/s y 1,01 m/s con la misma dirección de corriente superficial. (INOCAR, 2011)

### **3.2.2. Oleaje**

La dirección de olas para este sector durante los meses de julio a noviembre es del Suroeste con alturas que se sitúan entre los 20 cm y 176 cm, con una media de 60 cm. El rango de período comprende una banda entre 9 y 23 segundos, con la media en 15 segundos, y para los meses de diciembre a junio es del Noroeste con alturas media de 1.66 metros aproximadamente, existiendo un periodo entre los 7 y 16 segundos. (INOCAR, 2011).

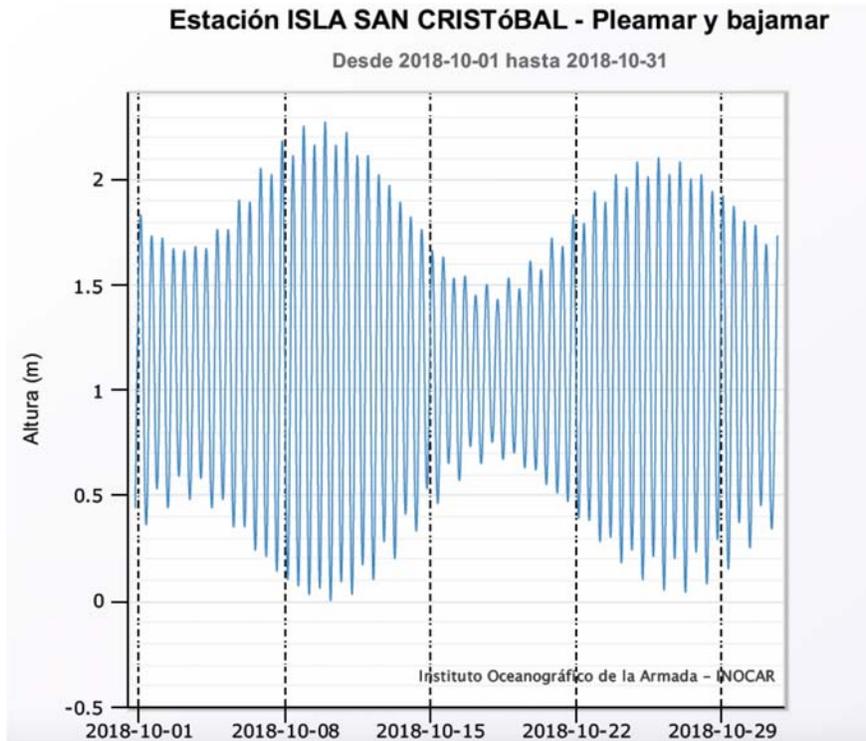
Para el diseño en estudio se utilizará la dirección de olas provenientes del Noroeste, debido a que estas olas son las que afectan directamente al puerto.



**Figura 7.: Ilustración del oleaje proveniente del NO arribando a Puerto Baquerizo Moreno.**

### **3.2.3. Mareas**

La marea en la Región Insular, es de tipo semidiurna, registrándose las bajamares y pleamares más pronunciadas entre los meses de diciembre a abril. Los vientos predominantes son del Sureste, que se mantienen más o menos constantes durante todo el año con una velocidad de 8.4 nudos, excepto en los meses de febrero, marzo, abril y mayo, en los cuales se observa un decrecimiento en la velocidad del viento hasta 5.8 nudos, en estos meses se producen las calmas ecuatoriales, las que dificultan la navegación a vela.



**Figura 8:** Rango de mareas de la estación de la Isla San Cristóbal del mes de octubre del 2018. Se evidencia pleamares y bajamares máximos en distintas semanas.

#### 3.2.4. Sedimentos

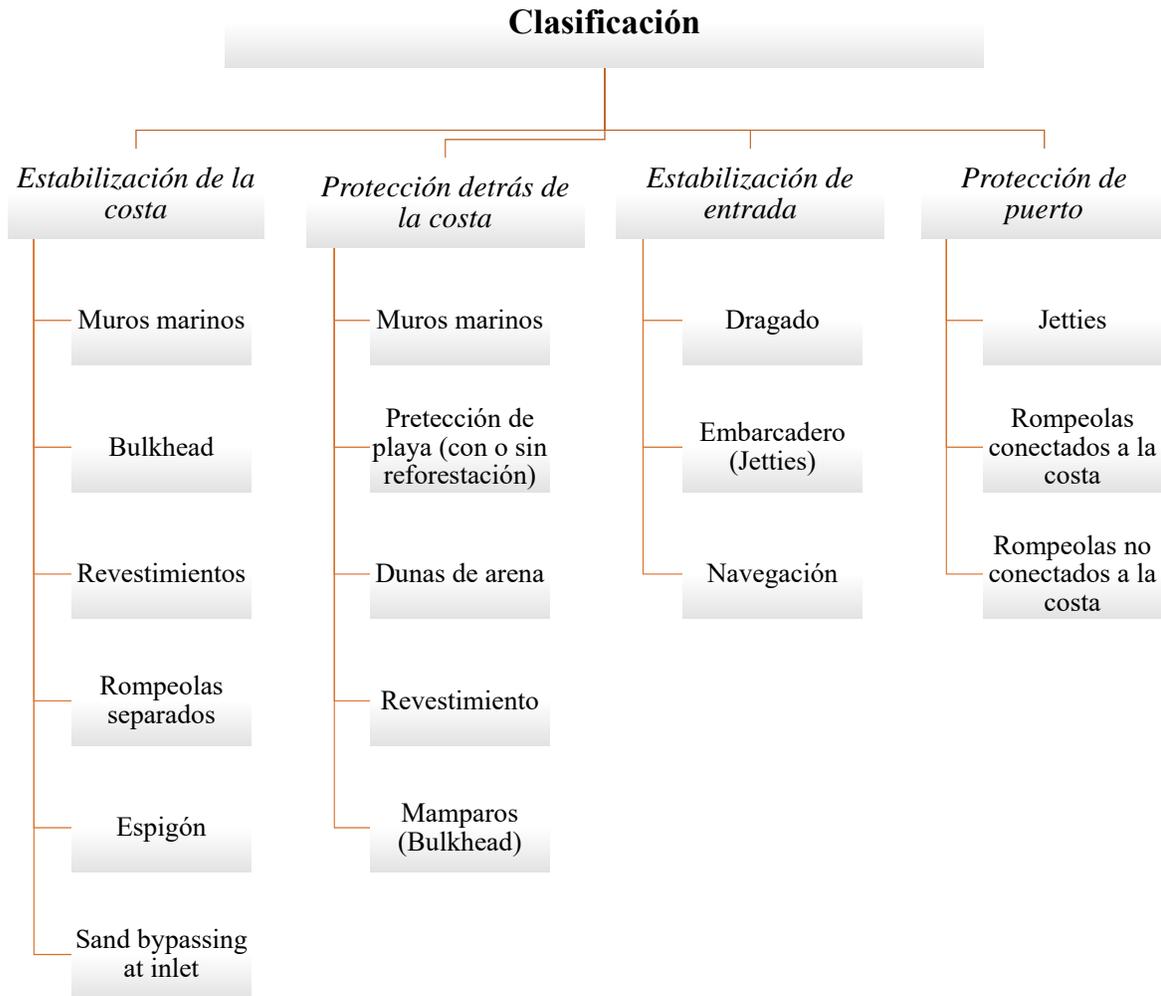
Por su origen volcánico, el fondo de esta bahía, al igual que las islas, está constituido por roca basáltica; pero hay pequeños sectores donde se han acumulado arenas orgánicas, llamadas también sedimentos biógenos, es decir, sedimentos conformados principalmente por restos de pequeños organismos marinos, especialmente fragmentos de conchas.

### **3.2.5. Nivel del mar**

Conocer el nivel del mar es esencial para el diseño de las estructuras de protección costera y la estabilización de las playas. Los niveles de agua determinan áreas críticas de las estructuras porque es donde concentran sus fuerzas y producen la mayor erosión. El comportamiento de las estructuras difiere en las mareas altas y bajas ya que los ataques que sufren difieren dependiendo de los niveles de marea. El ataque principal proviene de las olas. El nivel del mar, la altura y el período de las olas dan una idea de dónde se encuentran las áreas más vulnerables para fortalecer una estructura. El nivel del mar está sujeto a diversos orígenes astronómicos, tormentas, fenómenos hidrológicos y velocidad del viento. (INOCAR, 2011)

Partiendo de los valores obtenidos de la carta náutica de Puerto Baquerizo Moreno, el nivel medio de las pleamares de sicigia (MHWS) con un valor de 2,15 metros y el nivel medio de las bajamares de sicigia (MLWS) con un valor de 0,00 metros, los cuales corresponden a un estudio de las mareas en un periodo de tiempo muy amplio. Con esos valores, podemos obtener el Nivel Medio de Mar que es 1,10 metros.

### 3.3. Obras de protección marítima



El mapa conceptual muestra las estructuras o trabajos de protección en las cuatro clasificaciones de problemas generales de ingeniería costera. Los factores que deben considerarse al analizar cada área problemática son: consideraciones hidráulicas, control de estructura, mantenimiento, requerimientos legales, medio ambiente y consideraciones económicas.

A continuación, se mencionan las estructuras de protección costera más comunes.

### 3.3.1. Muros marinos, mamparos (Bulkheads) y revestimientos

Los muros marinos, mamparos y revestimientos son estructuras colocadas paralelas o casi paralelas a la costa para separar un área de tierra de un área de agua.

Los muros marinos son estructuras bastante masivas porque resisten toda la fuerza de las olas. Los mamparos son los siguientes en tamaño; su función principal es retener el relleno y, aunque en general no están expuestos a la acción de las olas, aún deben diseñarse para resistir la erosión causada por el clima de las olas en el sitio. Los revestimientos son generalmente los más ligeros porque están diseñados para proteger las costas contra la erosión por corrientes o la acción de las ondas de luz.

No hay distinciones precisas entre las tres estructuras, y a menudo el mismo tipo de estructura en diferentes localidades llevará un nombre diferente. Por lo tanto, es difícil indicar si un revestimiento de piedra u hormigón diseñado para proteger una escarpa vertical es un muro marino o un revestimiento, y a menudo tan difícil de determinar si un muro de contención sujeto a la acción de las olas debe llamarse un muro marino o mamparo. Sin embargo, todas estas estructuras tienen una característica en común: separan las áreas de tierra y agua. Además, estas estructuras brindan protección solo a la tierra inmediatamente detrás de ellas, y ninguna a las áreas adyacentes hacia arriba o hacia abajo.



**Figura 9: Muros marinos.**

Los mamparos son generalmente anclajes de paredes de pilotes verticales o paredes de gravedad; o estructuras de pilotes de acero celular. Hay dos tipos de revestimientos: el tipo rígido, de hormigón fundido y el tipo de unidad de armadura flexible o articulada.



Virginia Beach, Virginia (Mar.

### **Figura 10: Mamparos.**

Un revestimiento rígido de concreto proporciona una excelente protección del banco, pero el sitio debe ser deshidratado durante la construcción para que se pueda colocar el concreto. Una estructura flexible también proporciona una excelente protección bancaria y puede tolerar una consolidación menor sin falla de estructura.



Pioneer Point, Cambridge, Maryland (before 1966)  
(photo, courtesy of Portland Cement Association)

### **Figura 11: Revestimientos**

### 3.3.2. Espigón

Un espigón es una estructura de protección de la orilla diseñada para atrapar la deriva costera para construir una playa protectora, retardar la erosión de una playa existente o evitar que la deriva costera alcance un punto de bajada, como un puerto o entrada.

Estas estructuras presentan longitudes estrechas y alturas variables, y generalmente se construyen perpendiculares a la línea de la costa.



Westhampton Beach, New York (1972)

**Figura 12: Espigón.**

### 3.3.3. Embarcadero (Jetties)

Un embarcadero es una estructura que se extiende hacia el agua para dirigir y confinar el flujo de un río o una marea en un canal y evitar o reducir el desplazamiento del canal por el material litoral. Los muelles ubicados en la entrada de una bahía o río también sirven para proteger el canal de entrada de la acción de las olas y las corrientes cruzadas. Cuando se ubican en ensenadas a través de playas de barrera, los muelles también estabilizan la ubicación de la entrada.

#### **3.3.4. Rompeolas conectado a la costa**

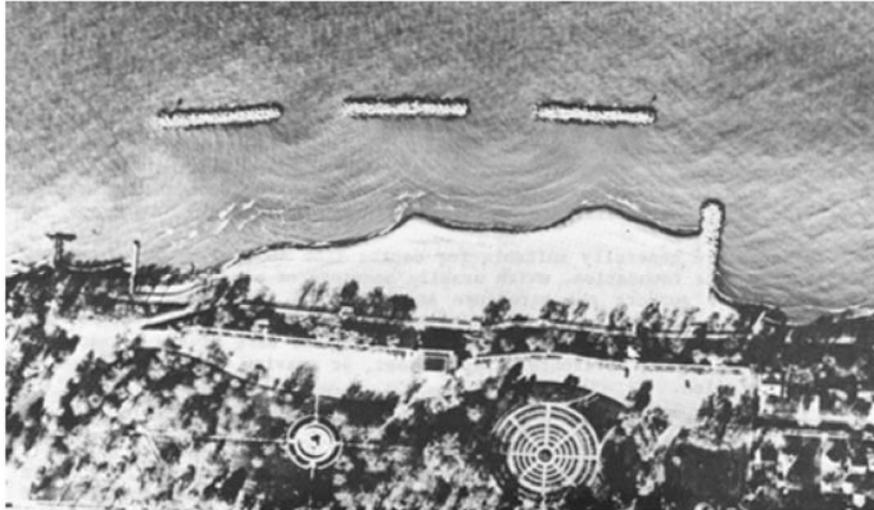
Un rompeolas conectado a la costa es una estructura que protege un área de la orilla, puerto, anclaje o cuenca de las olas. Los rompeolas para fines de navegación están contruidos para crear aguas tranquilas en el área de un puerto, lo que brinda protección para el amarre seguro, la operación y el manejo de los barcos y las instalaciones portuarias.

Los rompeolas pueden ser montículos de escombros, compuestos, cajones de concreto, etc. Ocasionalmente, se modifican en una estructura compuesta utilizando una tapa de concreto para la estabilidad. Las formas de hormigón prefabricado, como tetrápodos o tribares, también se usan para piedra de armadura cuando no se puede obtener una roca de tamaño suficiente.

#### **3.3.5. Rompeolas fuera de la costa**

Un rompeolas en alta mar es una estructura que está diseñada para brindar protección contra la acción de las olas en un área o litoral ubicada en el lado de sotavento de la estructura. Los rompeolas en alta mar suelen estar orientados aproximadamente en paralelo a la costa. También pueden proporcionar protección para puertos o costas erosionables, servir como trampa de sedimento de la barrera litoral, o proporcionar una función combinada.

Un rompeolas en alta mar proporciona protección al reducir la cantidad de energía de las olas que llega al área del agua y la costa en su sotavento. La estructura del rompeolas refleja o disipa la onda incidente que incide directamente en la estructura y transmite la energía de la onda por medio de la difracción en la sombra geométrica de la barrera.



Lakeview Park, Lorain, Ohio (Apr. 1981)

**Figura 13: Rompeolas paralelo a la costa.**

### **3.4. Altura de ola**

Para obtener la altura de ola de diseño, es necesario un análisis de las propiedades de la zona generadora de oleaje o bien contar con un registro amplio de observaciones en alta mar y así poder determinar el clima marítimo en aguas profundas.

La altura de ola seleccionada para este diseño es de tres metros, tomando como referencia alturas de olas máximas en los últimos años.

### **3.5. Diseño estructural**

El diseño del rompeolas consiste en determinar tanto los pesos como espesores de las capas que lo constituyen, es decir: núcleo, filtro y coraza.

#### **3.5.1. Secciones del rompeolas**

### **3.5.1.1. Núcleo**

El núcleo constituye el soporte de la estructura. El material que lo forma habitualmente se escoge basándose en la disponibilidad y costo. Se construye con roca con pesos inferiores a los de las capas superiores, con un alto grado de compactación.

### **3.5.1.2. Filtro**

El peso del filtro se expresa como una fracción del peso de la coraza, su función principal es la de soportar los elementos integrantes de la capa de coraza y al mismo tiempo confinar el material del núcleo, ordinariamente se forma por dos capas de elementos. La existencia de una o más capas de filtro las determina el proyecto.

### **3.5.1.3. Coraza**

La coraza es la capa principal de resistencia directa al oleaje. Se diseña para resistir a través del peso, la fricción y el entrelazamiento de los elementos, el embiste de las olas. En su diseño se toleran movimientos pequeños o grandes, según la función que desarrolle. Para hallar los pesos de los elementos de la coraza se usan distintas formulaciones, pero se debe aclarar que el resultado que arrojen las fórmulas es un valor mínimo que cada roca debe superar. (Saldaña, 2017 p. 40)

## **3.6. Análisis de estabilidad**

Una estructura de rompeolas se compone de varias capas de rocas colocadas al azar, protegidas con una coraza, que bien puede ser de piedra o de elementos de concreto con determinada forma. Los elementos de coraza deben colocarse de una manera ordenada, a fin de que se logre una buena interconexión entre cada una de las unidades individuales.

Los factores que deben tomarse en cuenta para el diseño son los siguiente: las características de oleaje en aguas profundas, la profundidad del agua en el extremo de la estructura, la batimetría y el peso específico del agua en donde se construirá la obra. Un factor

muy importante a considerar es el relativo al peso específico de las unidades de coraza; ya que la estabilidad de la estructura es función directamente de éste.

Hasta el año 1930, el diseño de estas estructuras se basaba exclusivamente en la experiencia y conocimiento específico del sitio donde se construirían. Posteriormente se desarrollaron fórmulas empíricas que proporcionan los pesos de los enrocamientos para resistir ciertas condiciones de ola de diseño.

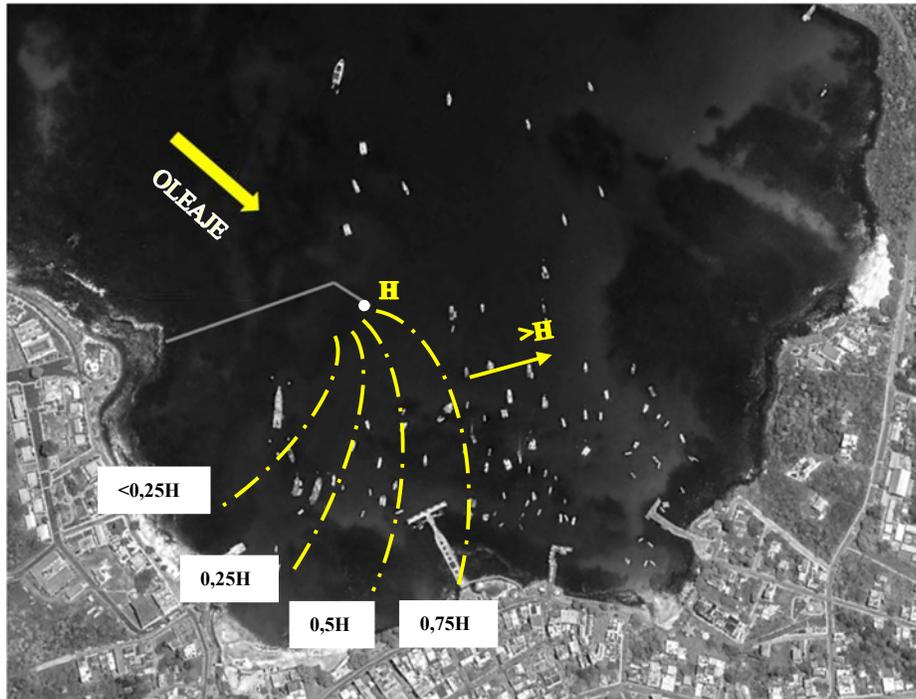
Dentro de las investigaciones que iniciaron en forma racional estos análisis podemos mencionar a Iribarren (1938, 1950) y más recientemente a Hudson (1953, 1959 a 1961) el cual hizo investigaciones extensas en el U.S. Army Engineer Waterways Experiment Station (WES) y desarrolló una fórmula que determina la estabilidad de este tipo de estructuras.

### **3.7. Refracción, difracción y reflexión del oleaje**

El oleaje al propagarse sobre la superficie del mar, va sufriendo deformaciones, por efecto del fondo o por el encuentro con obstáculos, los que originan en el primer caso el fenómeno de refracción y en el segundo el de difracción y reflexión. (Macdonel, et al., 2008 p. 64)

La difracción es en esencia un fenómeno de transferencia de la energía de unas zonas a otras. Se produce cuando la onda encuentra en su camino un obstáculo que impide su paso a la zona posterior del mismo. En efecto, si se supone un rompeolas que impide el paso de la onda, se pueden distinguir varias zonas con características de agitación diferentes.

Por tales razones, es fácilmente comprensible el interés que tiene el estudio de este fenómeno para el diseño y explotación de un gran número de obras e instalaciones marítimas.



**Figura 14: Diagrama de difracción del oleaje.**

### **3.8. Diseño funcional**

Existen diversos factores que determinan las características tanto de diseño como constructivas de una obra de protección, tales como las condiciones climatológicas, clima, vientos, lluvia, como también condiciones oceanográficas como lo son las corrientes, mareas, oleaje, batimetrías, sedimentos. De estas condiciones las de mayor importancia son el oleaje y el acarreo de sedimentos, los cuales van a determinar las características básicas de un rompeolas.

El asunto del diseño se basa principalmente en fórmulas que van determinando pesos y tamaños apropiados de piedra para garantizar la estabilidad del rompeolas, estas apiladas ordenadamente, cumpliendo las condiciones funcionales para las que se diseña.

El diseño se va desarrollando a lo largo de todo el rompeolas, ya que va relacionado con las profundidades a las que se encuentra. (Cifuentes, 2009)

## CAPÍTULO IV

### 4. Cálculos y resultados

En el presente capítulo se definirán los parámetros a seguir con el fin de determinar los requisitos mínimos que deberá cumplir la obra portuaria.

El rompeolas se lo diseñará para un periodo de vida útil de 50 años.

#### 4.1. Metodología de Cálculo.

A continuación, se mencionará la metodología a utilizar en el diseño estructural y comportamiento funcional de la estructura.

- *Determinación del talud de la estructura, el cual representa la razón entre distancia horizontal y vertical de la estructura.*
- *Determinación del peso de los elementos que conformarán la coraza, la cual soportará la fuerza que induzca el oleaje.*

Para el cálculo del peso de los elementos que conforman la coraza se emplea la fórmula de Hudson:

$$W = \frac{W_r \cdot H^3}{K_D (\rho_r - 1)^3 \cdot \cot \theta}$$

Donde:

$W_r$ = peso específico de la roca

$H$ = altura de ola de diseño

$K_D$ = coeficiente de estabilidad

$\rho_r$ = gravedad específica de la roca

$\theta$ = pendiente del talud

La expresión anterior nos fija el peso de los elementos, sean estos de enrocamiento natural o de concreto pre fabricado.

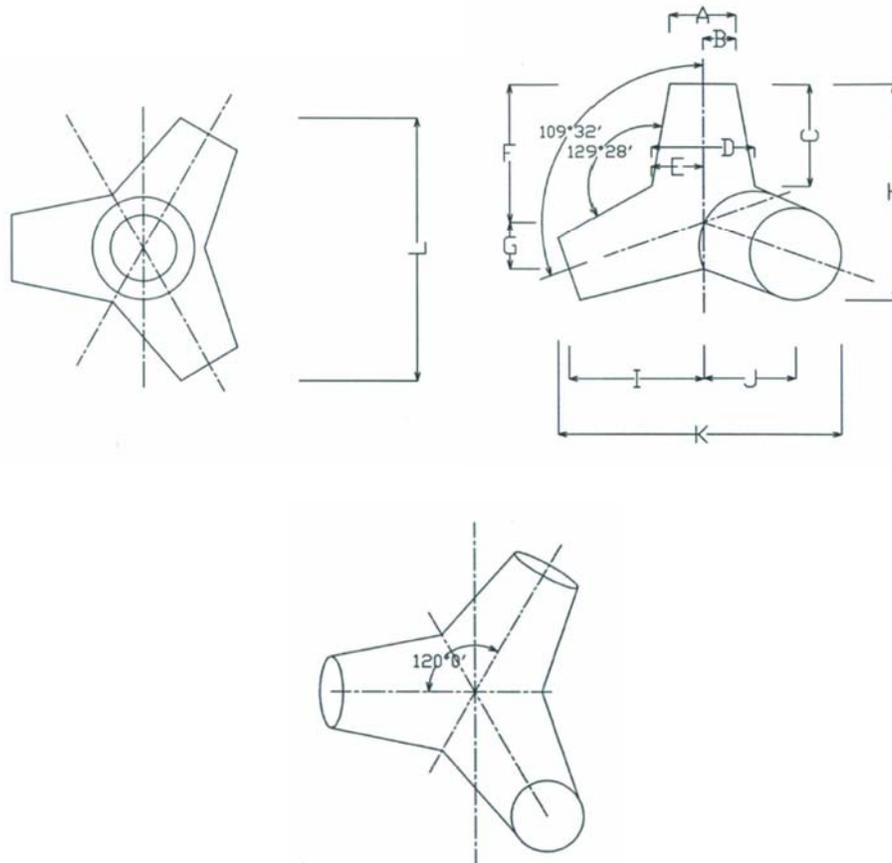
- Cálculo del peso de los elementos que conforman el núcleo y filtro.

**Tabla 1: Razón de peso de elementos del rompeolas.**

Capa	Razón de Peso
Coraza	W
Filtro	$W/15 \leq W_{\text{filtro}} \leq W/10$
Núcleo	$W/6000 \leq W_{\text{nucleo}} \leq W/200$

- Cálculo del tamaño de los elementos de la coraza.

Para el cálculo de las dimensiones de los tetrápodos se consideran los siguientes parámetros:



**Figura 15: Dimensiones de tetrápodos.**

Las características geométricas de las piezas son:

**Tabla 2: Fórmulas para dimensionar tetrápodos.**

$A=0,302*H$	$F=0,644*H$
$B=0,151*H$	$G=0,215*H$
$C=0,477*H$	$I=0,606*H$
$D=0,470*H$	$J=0,303*H$
$E=0,235*H$	$L=1,201*H$

Se calcula el volumen con la siguiente fórmula para luego obtener el valor de altura H.

$$V = \frac{W}{\gamma}$$

$$H = \sqrt[3]{\frac{V}{0,28}}$$

Donde:

V : Volumen elemento prefabricado tipo Tetrápodo (m<sup>3</sup>).

W : Peso elemento prefabricado tipo Tetrápodo (Ton).

$\gamma$  : Peso específico hormigón (Ton/m<sup>3</sup>).

H : Altura elemento prefabricado tipo Tetrápodo (m)

- *Cálculo del espesor mínimo de los elementos de la coraza y filtro.*

Para calcular el espesor mínimo de los elementos de la coraza y filtro se utiliza la siguiente ecuación:

$$t = n \cdot k\Delta \cdot \left(\frac{W}{\rho S}\right)^{1/3}$$

Donde:

t : Espesor medio coraza.

n : Número de rocas en espesor.

k Δ : Coeficiente de capa.

W : Peso roca o elemento prefabricado coraza.

ρs : Densidad roca o elemento prefabricado.

- *Determinación del número de elementos de coraza por área que deberá tener el rompeolas.*

$$\frac{Na}{A} = n \cdot k\Delta \cdot \left(1 - \frac{P}{100}\right) \cdot \left(\frac{\rho S}{W}\right)^{2/3}$$

Donde:

Na : Número de elemento.

A : Superficie de cálculo.

P : Permeabilidad.

n : Número de rocas en espesor.

kΔ : Coeficiente de capa.

W : Peso roca o elemento prefabricado coraza.

ρs : Densidad roca o elemento prefabricado.

- *Determinación del ancho mínimo que deberán tener las estructuras, para permitir la construcción y tránsito de vehículos para mantenimientos futuros.*

Se utiliza la siguiente ecuación, considerando características constructivas, accesibilidad y mantenimiento de la sección del rompeolas.

$$B = n \cdot k\Delta \cdot \left(\frac{W}{\rho s}\right)^{1/3}$$

Donde:

B : Ancho mínimo coronamiento.

n : Numero de rocas mínimas, se recomienda 3 unidades como mínimo.

kΔ : Coeficiente de capa.

W : Peso medio roca o elementos prefabricados coraza.

ρs : Densidad roca o elemento prefabricado.

#### **4.2. Análisis de cálculo**

Por consideraciones prácticas, el diseño del rompeolas para la protección de Puerto Baquerizo Moreno tiene las siguientes pendientes, considerando una forma trapezoidal con talud variable:

- Coraza del tronco expuesta al mar: se usa una pendiente de 2:1 (H:V)
- Coraza de la cabeza: se usa una pendiente de 2,5:1 (H:V)
- Coraza del tronco protegida del mar: se adopta una pendiente de 1,5:1 (H:V)

#### 4.2.1. Peso de los tetrápodos

**Tabla 3: Cálculo de peso de los tetrápodos.**

	Coraza del tronco expuesta al mar	Coraza de la cabeza	Coraza del tronco protegida del mar
Pendiente	2:1	2,5:1	1,5:1
Altura de ola	3 metros	3 metros	2 metros
Wr	2,4 Ton/m <sup>3</sup>	2,4 Ton/m <sup>3</sup>	2,4 Ton/m <sup>3</sup>
KD	7,2	5,9	8,3
<b>W</b>	<b>1,82 Ton</b>	<b>1,78 Ton</b>	<b>0,75 Ton</b>

#### 4.2.2. Peso de los elementos del filtro o capa intermedia

Corresponde un peso de las rocas igual a  $W/10 = 0,182 \text{ Ton} \approx 180 \text{ Kg}$

#### 4.2.3. Peso de los elementos del núcleo

Corresponde un peso de las rocas de hasta  $W/200 = 0,009 \text{ Ton} \approx 10 \text{ Kg}$

#### 4.2.4. Dimensiones de los tetrápodos

**Tabla 4: Dimensiones reales de los tetrápodos de diseño.**

Tetrápodos	V	H	A(m)	B(m)	C(m)	D(m)
Ton	m <sup>3</sup>	m	0,302*H	0,151*H	0,477*H	0,470*H
1,82	0,76	1,39	0,419	0,210	0,663	0,653
1,78	0,74	1,38	0,416	0,208	0,657	0,648
0,75	0,31	1,04	0,313	0,157	0,495	0,487

**Tabla 5: Dimensiones reales de los tetrápodos de diseño.**

Tetrápodos	E(m)	F(m)	G(m)	I(m)	J(m)	L(m)
Ton	0,235*H	0,644*H	0,215*H	0,606*H	0,303*H	1,201*H
1,82	0,326	0,894	0,299	0,842	0,421	1,668
1,78	0,324	0,887	0,296	0,835	0,418	1,655
0,75	0,244	0,668	0,223	0,628	0,314	1,245

#### 4.2.5. Espesor mínimo de la coraza

**Tabla 6: Cálculo de espesores mínimos de coraza.**

<b>n</b>	2		
<b>KD</b>	1,04		
<b><math>\rho_s</math></b>	2,4		
<b>W</b>	1,82	1,78	0,75
<b>t</b>	1,9	1,88	1,41
	≈2m	≈1,8m	≈1,4m

#### 4.2.6. Espesor mínimo del filtro

**Tabla 7: Cálculo del espesor mínimo del filtro.**

<b>n</b>	2
<b>KD</b>	1
<b>W</b>	0,20
<b><math>\rho_s</math></b>	2,65
<b>t1</b>	0,85
	≈1m

#### 4.2.7. Elementos de la coraza por área

**Tabla 8: Cálculo de número de tetrápodos por área.**

<b>A</b>	100		
<b>P</b>	50,00%		
<b>n</b>	2		
<b>KD</b>	1,04		
<b><math>\rho_s</math></b>	2,4		
<b>W (Ton)</b>	1,82	1,78	0,75
<b>Na/A</b>	1,25	1,27	2,26

### 4.3. Análisis de verificación

Se obtiene las áreas de tetrápodos de las secciones transversales del tronco con la siguiente fórmula:

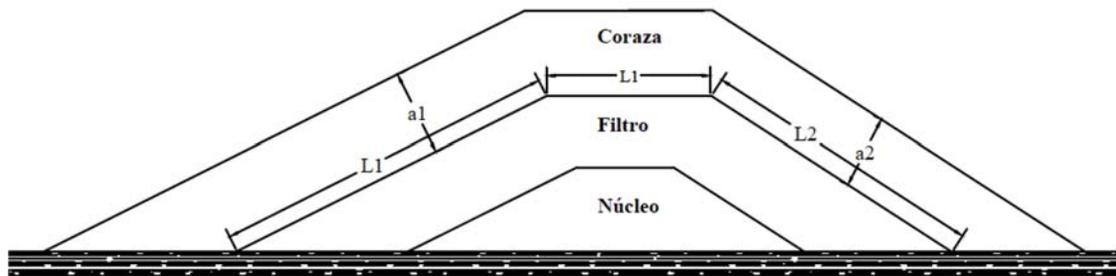
$$\text{Área de tetrápodos} = \frac{L1 + L2}{2} * l$$

Donde:

L1: Longitud sobre la capa de filtro del lado expuesto al oleaje.

L2: Longitud sobre la capa de filtro del lado protegido al oleaje.

l: Longitud entre los cortes transversales.



**Figura 16: Sección de rompeolas donde se muestra longitud y ancho de coraza.**

Luego se obtiene el número de tetrápodos correspondientes al área.

$$\text{Número de tetrápodos} = N1 + N2$$

N1= área de tetrápodos \* NA/A ) Lado expuesto al oleaje

N2= área de tetrápodos \* NA/A ) Lado protegido al oleaje

Se obtiene el volumen de los tetrápodos con la siguiente fórmula, donde v1 y v2, corresponden al volumen de cada tetrápodo.

$$\text{Volumen de tetrápodos} = N1 * v1 + N2 * v2$$

Con el ancho de la coraza del lado expuesto y protegido al oleaje, a1 y a2, obtenemos el área de la coraza de cada sección transversal.

$$\text{Área de coraza} = L1 * A1 + L2 * a2$$

Por último, se obtiene el volumen de la coraza multiplicando el promedio entre las áreas de coraza de las secciones por la longitud existente entre cortes.

Con estos datos de volumen se realiza la relación entre el volumen de los tetrápodos y el volumen de la coraza, la cual debe ser aproximadamente o igual a la porosidad del tetrápodo.

$$\frac{\text{Volumen de tetrápodos}}{\text{Volumen de coraza}} \approx 0,50$$

Finalmente, se analizan los siguientes cortes transversales para su respectiva comprobación.

**Tabla 9: Verificación de los cortes A-A a D-D.**

	Área 1	Área 2	Longitud	Volumen tetrápodos	Volumen coraza	Vtetrápodos/Vcoraza
<b>Corte A-A</b>	m2	m2	m	m3	m3	
	30,47	44,94	50	903,11	1885,25	0,48
<b>Corte B-B</b>						
	44,94	55,88	25	602,29	1260,25	0,48
<b>Corte C-C</b>						
	55,88	66,47	25	730,02	1529,38	0,48
<b>Corte D-D</b>						

**Tabla 10: Número total de tetrápodos**

	<b>Lado expuesto</b>	<b>Lado protegido</b>	
<b>Número de tetrápodos</b>	<b>1,82 T</b>	<b>0,75 T</b>	<b>1,78 T</b>
<b>Tronco</b>	2240,63	2488,26	
<b>Cabeza</b>			2309,1

#### **4.4. Metodología constructiva**

El proceso constructivo se inicia propiamente con la explotación de la mina, su clasificación según los parámetros requeridos y su transporte al sitio de obra. A partir de su explotación y clasificación en las minas, el material pétreo deberá cargarse preferentemente en cajas metálicas que se transportan en camiones, ello depende fundamentalmente de la localización del banco de material con relación al sitio de obra.

El lugar destinado para la elaboración del elemento prefabricado, deberá estar habilitado para la fabricación y almacenamiento de los tetrápodos, es decir, deberá contar con las dimensiones adecuadas para los requerimientos de la obra. Además, considerar todos los materiales a utilizar, mano de obra, equipos y extras necesarios como: nivelación del terreno, compactaciones para su mejoramiento, construcción de losa o firme de concreto de apoyo, etc. (Manzanillo, 2013 p. 7)

La siguiente imagen muestra la mina de extracción pétreo cerca del puerto, de donde se llevará el material hasta el área propuesta para utilizarla como un centro de acopio para producir los tetrápodos. El cuadro rojo muestra la localización del centro de acopio el cual tiene un área de 5800 metros cuadrados. La línea amarilla muestra la ruta más conveniente desde la mina hasta el centro de acopio, que tiene una longitud de 1690 metros.



**Figura 17: Puerto Baquerizo Moreno, donde se señala el camino de la mina al centro de acopio de tetrápodos.**

Para la colocación propiamente dicha, el proceso constructivo más frecuente es avanzar de tierra hacia el mar, empezando por el núcleo, la cual generalmente se deposita por camiones de volteo variando del mayor al menor peso de adentro hacia afuera. Los vehículos empleados utilizan la corona del núcleo para transitar, depositar el material y regresar a recargar, por esta razón deberá dejarse de tramo en tramo retornos para facilitar sus maniobras.

En este diseño, la corona al utilizar elementos de concreto pre fabricados, se utilizará la capa intermedia o filtro para el transporte indicado. En virtud de la poca resistencia que tiene el material de núcleo para resistir la acción del oleaje, deberá establecerse en cada caso la longitud máxima de núcleo que puede construirse antes de ser protegido por la capa intermedia.

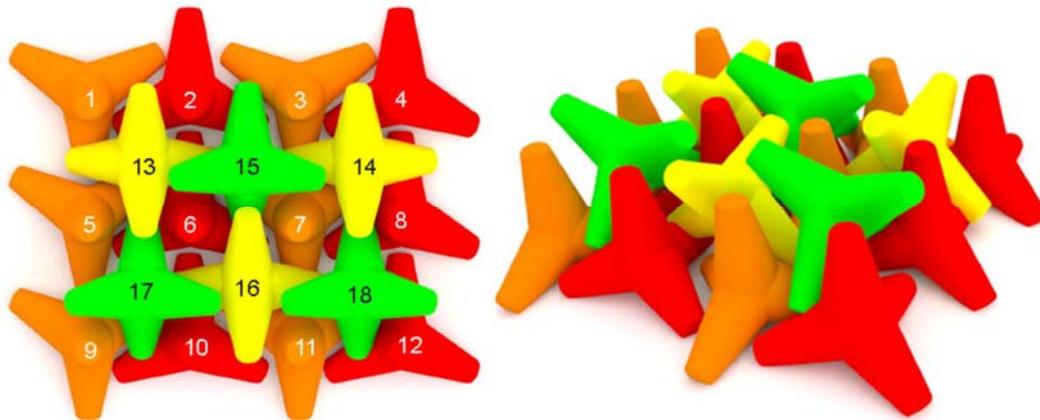
Para colocar la coraza se empleará una grúa que acomode de manera individual cada tetrapodo. En ocasiones, cuando la distancia de colocación se dificulta en razón de posibles problemas de volteamiento de la grúa, podrá requerirse el empleo de grúas montadas sobre plataformas provisionales.



**Figura 18: Colocación de tetrapodos con grúa.**

En el cálculo del precio unitario para el suministro y colocación de piedra natural para núcleo y capa intermedia, deberá incluirse las erogaciones por concepto de: explotación, selección, acopio, carga, desperdicios, sea en el sitio de construcción o en un patio de almacenamiento, esto último en el caso de los elementos de coraza.

Los tetrapodos deberán estar acomodados de manera entrelazada para que su función de reducir la fuerza del oleaje sea efectiva.



**Figura 19: Tetrápodos en dos capas entrelazados.**

#### **4.5. Fabricación del tetrápodo**

Las piedras a utilizar deben de cumplir con las especificaciones del proyecto. El molde del tetrápodo deberá estar sellado herméticamente para evitar la fuga de agregados finos durante el colado y el vibrado. Deberá ser suficientemente rígido para evitar deformaciones causadas por la presión del concreto. Se deberá construir de manera que los elementos puedan ser retirados sin dañar el concreto. Deberá tener aberturas específicas para facilitar su limpieza, inspección y colocación del concreto.



**Figura 20: Molde de tetrápodos.**

Para la elaboración de los tetrápodos se utilizará un tipo de cemento GU (Uso General) resistente a los sulfatos, tendrá una resistencia de  $F'c=280 \text{ Kg/cm}^2$  a los 28 días de edad, agregados de piedra  $\frac{3}{4}$  y agua potable. La dosificación deberá ser la adecuada para cumplir con las especificaciones en cuanto al peso volumétrico y resistencia a la compresión.

Para el control de calidad de los tetrápodos se deberá contar con un laboratorio para efectuar la resistencia a la compresión respectiva, rompiendo los cilindros a los 7, 14 y 28 días. Es importante que los cilindros que contengan las pruebas estén identificados por número y fecha.

El colado se realizará a tal velocidad que la mezcla se conserve en estado plástico, además que fluya por todos los espacios del molde, y se consolidará completamente por medio de un vibrador.

## **CAPÍTULO V**

### **5.1. Mantenimiento de la estructura**

Todas las estructuras deben ser mantenidas. Por lo tanto, el mantenimiento debe abordarse tanto en la etapa de diseño como a lo largo de la vida operativa de la estructura.

Los trabajos de mantenimiento e inspección frecuentes e intermitentes necesitarán un programa definido de mantenimiento y reemplazo como parte de una evaluación del esquema. Se requerirán inspecciones posteriores a la tormenta, estacionales o anuales, seguidas de un mantenimiento apropiado y trabajos de reparación. Este compromiso debe calcularse y programarse desde el principio para que el mantenimiento se administre de manera efectiva.

Una de las ventajas de este tipo de estructura es que la necesidad de su mantenimiento es de manera gradual y no súbitamente.

### **5.2. Estimación de costos**

En la construcción del rompeolas, los rubros que intervienen en el proceso no son numerosos. Sin embargo, la maquinaria necesaria es de un elevado valor económico.

También, la cantidad de materiales requeridos es significativa.

Para la estimación de costos asociados en la obra, se analizarán los siguientes elementos:

- Materiales petreos que constituye el filtro y núcleo.
- Materiales pre fabricados que componen la coraza.
- Explotación, selección y transporte del material pétreo.
- Equipos de construcción.

### 5.3. Cantidades involucradas y precios unitarios.

La siguiente estimación de costos contiene información verdadera de los precios unitarios de hoy en día en las islas Galápagos. Los valores calculados en mano de obra son para un tiempo promedio de ocho meses. Los valores estipulados en la tabla 12 acerca del transporte del material, varían de acuerdo al kilometraje desde el punto de recolección del material hasta el lugar de la obra.

**Tabla 11: Costos de materiales, maquinarias y mano de obra, en San Cristóbal.**

<b>Materiales</b>	<b>Unidades</b>	<b>Cantidad</b>	<b>P. Unitario</b>	<b>Cantidad</b>	<b>P. Total</b>
Saco de cemento GU	Kg	50	\$7,68	1851128,19	\$284.333,29
Arena (incluye transporte)	m3	6	\$141,12	898,58	\$21.134,64
Piedra (incluye transporte)	m3	6	\$95,00	1804,96	\$28.578,59
Transporte sacos de cemento	Ton	1	\$58,95	1851,13	\$109.124,01
Piedra para núcleo de 10 kg (incluye transporte)	m3	6	\$218,00	5474,29	\$198.899,24
Piedra para filtro de 180 Kg (incluye transporte)	m3	6	\$218,00	5275,30	\$191.669,15
Geotextil no tejido	m2	1	\$2,57	571,28	\$1.468,19
<b>Maquinaria</b>					
Grúa para colocación de tetrápodos	hora	1	\$80,00	1023	\$81.840,00
Retroexcavadora	hora	1	\$80,00	1500	\$120.000,00
Montacargas	hora	1	\$60,00	400	\$24.000,00
Rodillo compactador	hora	1	\$60,00	300	\$18.000,00
<b>Mano de obra</b>					
Peón	mes	1	\$659,00	30	\$158.160,00
Albañil	mes	1	\$800,00	20	\$128.000,00
Guardián	mes	1	\$659,00	2	\$10.544,00
					<b>\$1.375.751,11</b>

La siguiente estimación de costos, es para un rompeolas del tipo convencional de montones de escombros, es decir, en su coraza en vez de usar tetrápodos utiliza piedras de gran tamaño y peso específico.

**Tabla 12: Costos de materiales, maquinarias y mano de obra, en la provincia del Guayas.**

<b>Materiales</b>	<b>Unidades</b>	<b>Cantidad</b>	<b>P. Unitario</b>	<b>Cantidad</b>	<b>P. Total</b>
Piedra para coraza 2 Ton (incluye transporte)	m3	1	\$35,00	5000	\$175.000,00
Piedra para núcleo de 10 kg (incluye transporte)	m3	1	\$18,80	5474,29	\$102.916,67
Piedra para filtro de 180 Kg (incluye transporte)	m3	1	\$18,80	5275,30	\$99.175,60
Geotextil no tejido	m2	1	\$2,57	571,28	\$1.468,19
<b>Maquinaria</b>					
Grúa para colocación de tetrápodos	hora	1	\$50,00	1023	\$51.150,00
Retroexcavadora	hora	1	\$50,00	1500	\$75.000,00
Montacargas	hora	1	\$30,00	400	\$12.000,00
Rodillo compactador	hora	1	\$30,00	300	\$9.000,00
<b>Mano de obra</b>					
Peón	mes	1	\$386,00	30	\$92.640,00
Albañil	mes	1	\$526,00	20	\$84.160,00
Guardián	mes	1	\$386,00	2	\$6.176,00
					<b>\$708.686,46</b>

#### **5.4. Aprovechamiento de material**

Las provisiones de comida y materiales de cualquier índole, llegan a la isla desde el Ecuador continental en barcos contenedores.

Hoy en día, existen solo tres barcos que cuentan con el permiso de operación insular: Paola, Fusión II, Manantial. Estos barcos visitan las islas cada 15 días, pero sólo una a la vez, distribuyendo el recorrido en tres diferentes rutas. La primera ruta, es hacia Puerto Baquerizo Moreno. La segunda ruta llega a Puerto Ayora, y la última ruta a Puerto Villamil y Puerto Velasco Ibarra.

Las tarifas correspondientes cambian con el tipo de ruta, siendo la de Puerto Baquerizo Moreno la de menor costo, por ser la isla más cercana al continente. Cabe mencionar, que el precio dependerá del tipo de producto y del peso del mismo.

## CAPÍTULO VI

### Conclusiones y recomendaciones

#### 6.1. Conclusiones

- La utilización de tetrápodos para protección del puerto busca reemplazar los elementos más convencionales usados en los diferentes tipos de rompeolas como rocas de gran tamaño, a fin de reducir el impacto ambiental y costos.
- La creación del rompeolas se reflejará en el buen vivir de los habitantes, brindando seguridad y confianza del lugar.

#### 6.2. Recomendaciones

- Las fórmulas empleadas son derivadas de ensayos en laboratorio. Sin embargo, hay que tener en cuenta que las condiciones pueden variar en la ubicación del proyecto.
- Sería conveniente continuar el estudio, probando otros dimensionamientos de las secciones de los rompeolas y de los elementos de concreto.

## CAPÍTULO VII

### REFERENCIAS

**Criterios de diseño de rompeolas de berma, bajo el concepto de oleaje irregular** [Publicación periódica] / aut. Ortega Carlos Jiménez. - México : Instituto Politécnico Nacional, Junio de 2010.

**Estudio de alternativas de rompeolas para el proyecto de descarga de carbón** [Publicación periódica] / aut. Dominguez Roberto Fernandez // Universidad Católica de la Santísima Concepción. - Chile : [s.n.], Noviembre de 2010.

**La pesca artesanal vivencial en Galápagos** [Libro] / aut. Zapata Fabian. - Quito : [s.n.], 2006.

**Galápagos: 50000 dólares para reparar muelle** [Artículo] / aut. Productor El // El periódico del campo. - 03 de Septiembre de 2011.

**Oleaje hunde una lancha y afecta el malecón de San Cristóbal** [Artículo] / aut. Comercio El. - 2 de Mayo de 2015.

**Parque Nacional Galápagos** [En línea] / aut. Pi Carlos // Recursos Pétreos y madereros en Galápagos. - 4 de Octubre de 2016. - 20 de Septiembre de 2018. - [http://www.carlospi.com/galapagospark/desarrollo\\_sustentable\\_recursos\\_petresos\\_madereros.html](http://www.carlospi.com/galapagospark/desarrollo_sustentable_recursos_petresos_madereros.html).

**The Tetrapod** [Sección de libro] / aut. Danel P y Greslou L // Coastal Engineering Proceedings. - 1962. - Vol. 27.

**El nuevo puerto de Arica y el empleo de tetrápodos como recubrimiento en sus obras de protección** [Publicación periódica] / aut. Ossa Mauricio // Constructor Civil del IDIEM. - Julio de 1964. - 2 : Vol. 3.

**Obras y actividades de protección de los efectos del mar de fondo, en el club de playa La Concha** [Informe] : Impacto Ambiental / aut. Jaramillo Jaime / Hotel las Brisas S.A.. -

Acapulco : [s.n.], 2015.

**Ingeniería Marítima y Portuaria** [Libro] / aut. Macdonel Guillermo [y otros]. - México DF : Alfaomega, 2008.

**Diseño de un dique de escollera para protección de la Vía Costa Verde Tramo Callao** / aut. Saldaña Luis // Pontificia Universidad Católica del Perú. - Lima : [s.n.], Junio de 2017.

**PROCEDIMIENTO PARA LA CONSTRUCCIÓN DE UN ROMPEOLAS** [Publicación periódica] / aut. Cifuentes Roger // Universidad Rafael Landivar. - 2009.

**Métodos de Protección Costera** [Sección de libro] / aut. SPM // Shore Protection Manuaol / aut. libro Engineers US Army Corps of. - Washington : [s.n.], 1984. - Cuarta edición : Vol. 2.

**Islas Galápagos** [Informe] / aut. INOCAR. - Guayaquil : [s.n.], 2011.

**En Galápagos, de cinco sitios se extrae material pétreo** [Artículo] / aut. ElUniverso // Ecología. - 08 de Julio de 2018.

**Manzanillo** [Informe] / aut. Manzanillo / Coordinación General de Puertos y Marina Mercante. - Manzanillo : [s.n.], 2013.

## **CAPÍTULO VIII**

### **ANEXOS**