

**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL**

**Facultad de Ingeniería Marítima y Ciencias del Mar**

Diseño Conceptual de Una Facilidat Portuaria en Bahía Academia, Isla Santa Cruz, Galápagos

**PROYECTO INTEGRADOR**

Previo la obtención del Título de:

**Ingeniera Oceanográfica**

Presentado por:

Sonia Romina Granja Banchón

GUAYAQUIL - ECUADOR

Año: 2020

## DEDICATORIA

A mi mamá Jeannette, por su apoyo constante e incansable, por sacrificar todo por mí, por su ejemplo de fortaleza.

A mi papá Edwin, porque su anhelo era verme convertir en profesional y hoy que no está físicamente a mi lado quiero decirle ¡Lo logré!

A mi mamá Angela y familia, por ser mi motivación en todo lo que hago.

## **AGRADECIMIENTOS**

Quiero agradecer a Dios por la vida, por su amor, por permanecer fiel y fortalecerme en cada instante de mi vida.

A Hugo, por ser mi compañero, amigo y soporte en toda mi etapa universitaria, por no dejarme rendir por más difícil que se tornaban las cosas.

A mis tutores, Msc. Jonathan Cedeño, Msc. Eduardo Cervantes y Msc. Iván Saltos por guiarme durante el proceso de elaboración de mi tesis.

Al Ing. Ernesto Tovar, al Ing. Walther Cevallos y al Oc. Mario Hurtado por su apoyo y aporte en mi proyecto.

## **DECLARACIÓN EXPRESA**

“Los derechos de titularidad y explotación, me corresponde conforme al reglamento de propiedad intelectual de la institución; Sonia Romina Granja Banchón y doy mi consentimiento para que la ESPOL realice la comunicación pública de la obra por cualquier medio con el fin de promover la consulta, difusión y uso público de la producción intelectual”

---

Sonia Romina Granja Banchón

# EVALUADORES

---

**Msc. Luis Altamirano**

PROFESOR DE LA MATERIA

---

**Msc. Jonathan Cedeño**

PROFESOR TUTOR

# RESUMEN

La Isla Santa Cruz es el centro económico de Galápagos, y está atravesando momentos críticos en su sistema portuario puesto que no cuenta con un puerto que permita el atraque del buque Fusion 2, el mismo que abastece a la isla. El presente trabajo tiene como objetivo evaluar alternativas sobre posible ubicación de un puerto en Bahía Academia mediante la opinión expertos, y luego modelar la propagación del oleaje para comprobar que se encuentre situado en un lugar donde no se vea perjudicado ni el atraque ni la infraestructura del muelle. Para el efecto, se dividió el proyecto en tres etapas: **(i)** selección del sitio adecuado a través de la matriz de Lickert, **(ii)** modelaje de la propagación del oleaje mediante Delft 3D Wave; y **(iii)** diseño conceptual de la facilidad portuaria. Los resultados obtenidos por etapa fueron: **(i)** que el sitio A, cercana a la Estación Charles Darwin es la óptima con respecto a la opinión de los actores, **(ii)** se obtuvo que el sitio A presenta una altura máxima de 0.3 m en el sitio A; el sitio B con alturas de 0.1 m y el sitio C con 0.9 m , **(iii)** implantación de un muelle tipo espigón o tipo T para el atraque del buque. Se concluyó que el sitio A es el más apropiado para la colocación de un puerto porque las condiciones oceanográficas no afectarían de forma negativa a la estructura, además que el puerto tendría un área de 1.6 hectáreas.

**Palabras clave:** Puerto, Buque Fusion 2, Oleaje, Modelación, Diseño Conceptual

# ABSTRACT

*Santa Cruz Island, which is considered the economical center of Galapagos, is passing through a critical situation in its port system since it does not have a port that allows the Fusion 2 ship to dock, the same one that supplies the island. This project aims to evaluate several options of possible location of a port in Bahia Academia considering the points of view of experts, and then model the wave propagation in the study area to verify that it is located in a place where waves will not harm the berthing of ships or affect the dock infrastructure, which will be generally designed in this project. For this purpose, the project was divided in three stages: (i) site selection through the Lickert matrix methodology, (ii) modeling of wave propagation at the three proposed sites using Delft 3D Wave and (iii) conceptual design of the port. The results obtained by stage were: (i) site A, the one that is close to the Charles Darwin Station, is the optimal one considering the opinion of the actors, (ii) it was obtained that site A has 0.30 m as maximum height, site B with 0.1 m and site C 0.9 m, (iii) implantation of a jetty or T-type dock. It was concluded that site A is the most appropriate for the placement of a port since the oceanographic conditions would not negatively affect the structure, in addition to that the port would have an area of 1.6 hectares.*

**Keywords:** *Port, Fusion 2 ship, Swells, Model, Conceptual Design*

# ÍNDICE GENERAL

|  |      |
|--|------|
| RESUMEN.....   | I    |
| ABSTRACT .....   | II   |
| ÍNDICE GENERAL .....   | III  |
| ABREVIATURAS.....  | V    |
| SIMBOLOGÍA.....  | VI   |
| ÍNDICE DE FIGURAS .....  | VII  |
| ÍNDICE DE TABLAS.....  | VIII |
| CAPÍTULO 1.....  | 1    |
| 1. INTRODUCCIÓN .....  | 1    |
| 1.1 Descripción del problema.....                                    | 2    |
| 1.2 Justificación del problema .....                                 | 2    |
| 1.3 Alcance.....   | 3    |
| 1.4 Objetivos .....  | 4    |
| 1.4.1 Objetivo General.....  | 4    |
| 1.4.2 Objetivos Específicos.....                                     | 4    |
| 1.5 Marco Teórico .....  | 4    |
| 1.5.1 Área de estudio.....   | 5    |
| CAPÍTULO 2.....  | 14   |
| 2. METODOLOGÍA.....  | 14   |
| 2.1 Selección del sitio.....   | 15   |
| 2.2 Modelación de la propagación del oleaje en Delft 3D – WAVE ..... | 19   |



|                   |   |    |
|-------------------|---|----|
| 2.2.1             | Datos de entrada .....  | 20 |
| 2.2.2             | Condiciones de borde .....                                      | 24 |
| 2.3               | Diseño conceptual .....   | 26 |
| CAPÍTULO 3.....   |   | 32 |
| 3.                | RESULTADOS .....  | 32 |
| 3.1               | Selección del sitio .....                                       | 32 |
| 3.2               | Modelación de la propagación del oleaje en Delft 3D – WAVE..... | 33 |
| 3.2               | Diseño conceptual .....   | 36 |
| 3.2.1             | Dimensionamiento.....   | 36 |
| 3.2.2             | Método constructivo .....                                       | 38 |
| 3.2.3             | Juntas constructivas .....                                      | 39 |
| 3.2.4             | Número de pilotes .....   | 40 |
| 3.2.5             | Ubicación.....  | 41 |
| 3.3.2             | Grúa .....  | 47 |
| CAPÍTULO 4.....   |   | 48 |
| 4.                | CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....                            | 48 |
| 4.1               | Conclusiones .....  | 49 |
| 4.2               | Recomendaciones.....  | 49 |
| BIBLIOGRAFÍA..... |   | 51 |
| APÉNDICE .....    |   | 53 |
| APÉNDICE A:       | Rutinas de Matlab para descarga de datos de WaveWatch III.....  | 54 |
| APÉNDICE B:       | Matriz de Lickert.....  | 56 |
| APÉNDICE C:       | Visita técnica a Puerto Gal.....                                | 62 |

|   |    |
|---|----|
| APÉNDICE D: Cálculos para determinar el número de pilotes en las propuestas de muelles..... | 66 |
| APÉNDICE E: Representación del diseño conceptual del puerto.....                            | 69 |
| APÉNDICE F: Plano de la facilidad portuaria .....   | 73 |

# ABREVIATURAS

|         |  |
|---------|--|
| ABG     | Agencia de Bioseguridad de Galápagos                   |
| CGREG   | Consejo de Gobierno Regional Especial de Galápagos     |
| DPNG    | Dirección del Parque Nacional de Galápagos             |
| ESPOL   | Escuela Superior Politécnica del Litoral               |
| FIMCM   | Facultad de Ingeniería Marítima y Ciencias del Mar     |
| GAD     | Gobierno Autónomo Descentralizado                      |
| INOCAR  | Instituto Oceanográfico de la Armada                   |
| INAMHI  | Instituto Nacional de Hidrología y Meteorología        |
| MATLAB  | Matrix Laboratory                                      |
| NOAA    | Administración Nacional del Océano y la Atmósfera      |
| MTOP    | Ministerio de Transporte y Obras Públicas              |
| TEU     | Twenty Foot Equivalent Unit                            |
| WW3     | Wave Watch III   |
| OPENDAP | Open-source Project for a Network Data Access Protocol |

# SIMBOLOGÍA

|    |                      |
|----|----------------------|
| m  | metros               |
| km | kilómetros           |
| °  | Grados               |
| T  | Periodo              |
| Hs | Altura significativa |

# ÍNDICE DE FIGURAS

|  |    |
|--|----|
| Imagen 1.1.- Área de estudio .....   | 5  |
| Imagen 1.2.- Refracción en Bahía Academia (Oceanografía Costera, 2018) .....     | 7  |
| Imagen 1.3.- Buque Fusion 2 .....  | 13 |
| Imagen 2.1.- Modelo de Pahl y Beitz. Cross (1999) .....                          | 14 |
| Imagen 2.2.- Sitios propuestos para la ubicación de la facilidad portuaria ..... | 15 |
| Imagen 2.3 Batimetría en 3D de la Bahía Academia .....                           | 16 |
| Imagen 2.4 Criterios y subcriterios para la selección del sitio del puerto ..... | 18 |
| Imagen 2.5.- Digitalización de la carta náutica en QGis .....                    | 20 |
| Imagen 2.6.- Batimetría cargada en RFGRID.....                                   | 21 |
| Imagen 2.7.- Elaboración de “Splines” en RFGRID.....                             | 22 |
| Imagen 2.8.- Grilla elaborada manualmente.....                                   | 23 |
| Imagen 2.9.- Grilla mejorada .....   | 23 |
| Imagen 2.10.- Interpolación de datos batimétricos .....                          | 24 |
| Imagen 2.11.- Grúa tipo Gottwald modelo. (KONECRANES, 2020) .....                | 28 |
| Imagen 3.1 Altura significativa y Periodo pico en el Sitio A .....               | 34 |
| Imagen 3.2 Altura significativa y Periodo pico en el Sitio B .....               | 35 |
| Imagen 3.3 Altura significativa y Periodo pico en el Sitio C .....               | 35 |
| Imagen 2.10.- Alternativa A .....  | 36 |
| Imagen 2.11.- Alternativa B .....  | 37 |
| Imagen 2.12.- Distribución de las juntas Alternativa “A” .....                   | 39 |
| Imagen 2.13.- Distribución de las juntas Alternativa “B” .....                   | 40 |

|   |    |
|---|----|
| Imagen 2.14.- Extensión del puerto según lo proyectado para el año 2040 ..... | 41 |
| Imagen 2.15.- Facilidad portuaria implantada en el sitio seleccionado.....    | 42 |
| Imagen C-1 Buque Fusion 2 en el muelle de StoreOcean .....                    | 63 |
| Imagen C-2 Revisión de la carta náutica junto al capitán del buque .....      | 63 |
| Imagen C-3 Conversación con delegadas de la ABG .....                         | 64 |
| Imagen C-4 Patio de contenedores de PuertoGal .....                           | 64 |
| Imagen C-5 Productos almacenados en la bodega.....                            | 65 |
| Imagen C-6 Bodega de almacenamiento .....                                     | 65 |
| Imagen E-1 Facilidad portuaria.....   | 69 |
| Imagen E-2 Bodegas y oficinas .....   | 69 |
| Imagen E-3 Zona de parqueo de camiones y garita de ingreso al puerto .....    | 70 |
| Imagen E-4 Zona para controles varios del puerto.....                         | 70 |
| Imagen E-5 Patio de almacenamiento.....                                       | 71 |
| Imagen E-6 Muelle de atraque .....  | 72 |

# ÍNDICE DE TABLAS

|  |    |
|--|----|
| Tabla 1.1.- Longitud y porcentajes de las zonas costeras .....   | 8  |
| Tabla 1.2.- Factores principales en la selección de la ubicación de un puerto. Camarena, Ricardo (2012) .....  | 12 |
| Tabla 1.3.- Características del buque Fusion 2 .....   | 13 |
| Tabla 2.1 Criterios para la selección del sitio .....  | 17 |
| Tabla 2.2 Escala de Lickert para la selección del sitio .....  | 19 |
| Tabla 2.3.- Condiciones de borde para el modelo .....  | 25 |
| Tabla 2.4.- Área operacional estimada para terminales de carga a fin de cubrir la demanda de carga de Galápagos para el año 2040. WildAid (2012) ..... | 26 |
| Tabla 2.5.- Características generales de la grúa tipo Gottwald modelo 2. (KONECRANES, 2020) .....  | 28 |
| Tabla 2.6 Consideraciones para determinar profundidad del muelle.....  | 30 |
| Tabla 3.1.- Promedio de calificación de los subcriterios para selección del sitio.....   | 33 |
| Tabla 3.2.- Dimensiones Alternativa A .....  | 37 |
| Tabla 3.3.- Dimensiones Alternativa B .....  | 38 |
| Tabla 3.4.- Número de pilotes .....  | 40 |
| Tabla 3.5.- Costos de equipos, mano de obra y materiales para el hincado de pilote.....  | 43 |
| Tabla 3.6.- Costos de equipos y mano de obra para el hincado de pilotes desde tierra ....  | 44 |
| Tabla 3.7.- Costos de equipos y mano de obra para el hincado de pilotes desde el agua .  | 45 |
| Tabla 3.8.- Comparación de costos en el hincado de pilotes entre la propuesta de muelle en espigón y el muelle tipo T .....                            | 46 |

Tabla B-2.1 Resultados de la entrevista por parte un delegado de GAD Santa Cruz-ESPOL .....57

Tabla B-2.2 Resultados de la entrevista por parte un consultor .....58

Tabla B-2.3 Resultados de la entrevista por parte un delegado del GAD Santa Cruz.....59

Tabla B-2.4 Resultados de la entrevista por parte un delegado del MTOP .....60

Tabla B-2.4 Resultados de la entrevista por parte un experto de ESPOLE.....61



# CAPÍTULO 1

## 1. INTRODUCCIÓN

El archipiélago de Galápagos está conformado por un conjunto de islas, entre éstas se encuentra la Isla Santa Cruz, la misma que contiene a Puerto Ayora, considerado el puerto más importante de la isla debido que es considerado como el centro económico del archipiélago.

El origen volcánico de la isla es el principal motivo de su geomorfología tan peculiar formada por altos y bajos constituido por rocas volcánicas, manglares y playas; a su vez la zona noroeste de la isla presenta principalmente acantilados Nativí Merchán S., López Merchán M., Martillo Bustamante C (2018), estas características, junto a la diversidad de flora y fauna son la que han atraído a los turistas.

Así como la isla ofrece paisajes encantadores, es importante satisfacer las necesidades de los visitantes y de la población residente de la isla; pero debido a la distancia entre el Ecuador continental y el archipiélago se ha requerido usar el transporte aéreo y marítimo para el transporte de carga.

El proceso previo al diseño requiere un análisis de la zona donde se ubicaría el muelle considerando el tipo de buque, además de identificar los impactos y beneficios para evitar daños prematuros en la estructura y desastres debido a la acción del oleaje.

## **1.1 Descripción del problema**

Debido a la demanda que existe de abastecer a los turistas, y a la población en general, el transporte marítimo de contenedores se ha vuelto esencial para la isla, puesto que por este medio se transporta alimentos, material de construcción, productos de aseo, entre otros, necesarios para el desarrollo económico; sin embargo, no existe un puerto que permita el atraque de buques con las características del Fusion 2 el cual abastece a la isla.

En lo últimos años, han ocurrido varios accidentes de buques debido a lo precario que es el sistema portuario, entre estos se podría citar el ocurrido en Bahía Naufragio en la Isla San Cristóbal, provocando no solo daños y pérdidas económicas sino poniendo en riesgo al ecosistema marino por riesgo de combustible.

## **1.2 Justificación del problema**

El presente proyecto nace de la necesidad de poder determinar un sitio seguro de atraque para buques portacontenedores en la Isla Santa Cruz, que se encuentre cerca de la población y que contenga todas las facilidades que un puerto necesita, y aún más perteneciendo a Galápagos donde la fauna y la flora se cuidan como tesoro.

Por otro lado, la logística para la descarga de los contenedores no es segura para el buque, ni para los tripulantes ni para la carga, debido que al no haber un muelle para el buque éste se ve en la necesidad de fondear cerca a la isla, en el canal de Itabaca, y luego mediante gabarras los contenedores son trasladados hacia el muelle de turistas el mismo que está sufriendo daños en su estructura ya que está tratando de soportar la carga que involucra el traslado de los contenedores. Finalmente, la carga debe transportarse por 45 km hacia el patio de consolidación, es decir que no existe un sistema portuario eficaz ni seguro en la isla.

Por lo cual identificar la ubicación apropiada para un posible futuro proyecto de construcción de un muelle para buques portacontenedores y su respectivo patio de consolidación y oficinas traería beneficios como:

- Facilidad en el atraque de buques
- Fluidez y seguridad en el sistema portuario
- Mejor control de la carga
- Generación de empleo

### **1.3 Alcance**

El presente proyecto ha sido elaborado durante la época de emergencia sanitaria debido a la pandemia del Covid 19, y por causa de esto se presentaron ciertas limitaciones, tales como la imposibilidad de visitar el sitio de estudio y de acceder a entrevistas presenciales, tampoco se pudo tener acceso al laboratorio de cómputo por seguridad; sin embargo, se adoptó otros mecanismos para desarrollar el proyecto como, tener entrevistas virtuales y soporte técnico remoto.

Este proyecto fue desarrollado en varias etapas.

La primera etapa es un estudio de prefactibilidad para la selección de la ubicación del muelle basado en los siguientes criterios:

- Logística
- Condiciones Físicas
- Ambiente

En la segunda etapa se realiza el modelado de la propagación del oleaje mediante Delft 3D Wave, el cual utiliza la metodología del modelo de 3era generación SWAN de Delft.

Finalmente se ha realizado un diseño conceptual del puerto incluyendo el tipo de muelle y la distribución de bodegas y oficinas.

## **1.4 Objetivos**

### **1.4.1 Objetivo General**

Diseñar de forma conceptual una facilidad portuaria considerando los aspectos oceanográficos, con el fin de ofrecer un sitio estratégico para la carga y descarga proveniente de buques portacontenedores.

### **1.4.2 Objetivos Específicos**

- Seleccionar el mejor sitio para la ubicación del muelle de carga mediante la metodología de la Matriz de Lickert.
- Modelar la propagación del oleaje usando el modelo numérico Delft 3D – Wave.
- Determinar si la propagación del oleaje afectaría a la estructura del muelle en el sitio elegido.
- Determinar el tipo de muelle apropiado para la zona de estudio según las necesidades que tiene.
- Diseñar de forma preliminar el muelle y las zonas de almacenamiento y control de la carga.

## **1.5 Marco Teórico**

Conocer ciertas características de la zona de estudio es necesario para lograr comprender de mejor forma la problemática, además permite identificar la información que se tiene hasta el momento para elaborar un diseño conceptual.

Los muelles están directamente expuestos al oleaje, mareas y vientos, además que cada muelle está diseñado para brindar servicio a un tipo de buque en específico, es decir que se debe considerar las características de la batimetría presente en la zona.

Por otro lado, para conocer cómo podría llegar a ser el comportamiento del oleaje, con respecto a su propagación se han desarrollado distintos modelos para conocer cómo llega el oleaje en magnitud, y dirección hacia la costa. Los modelos que promedian la fase como SWAN son una alternativa.

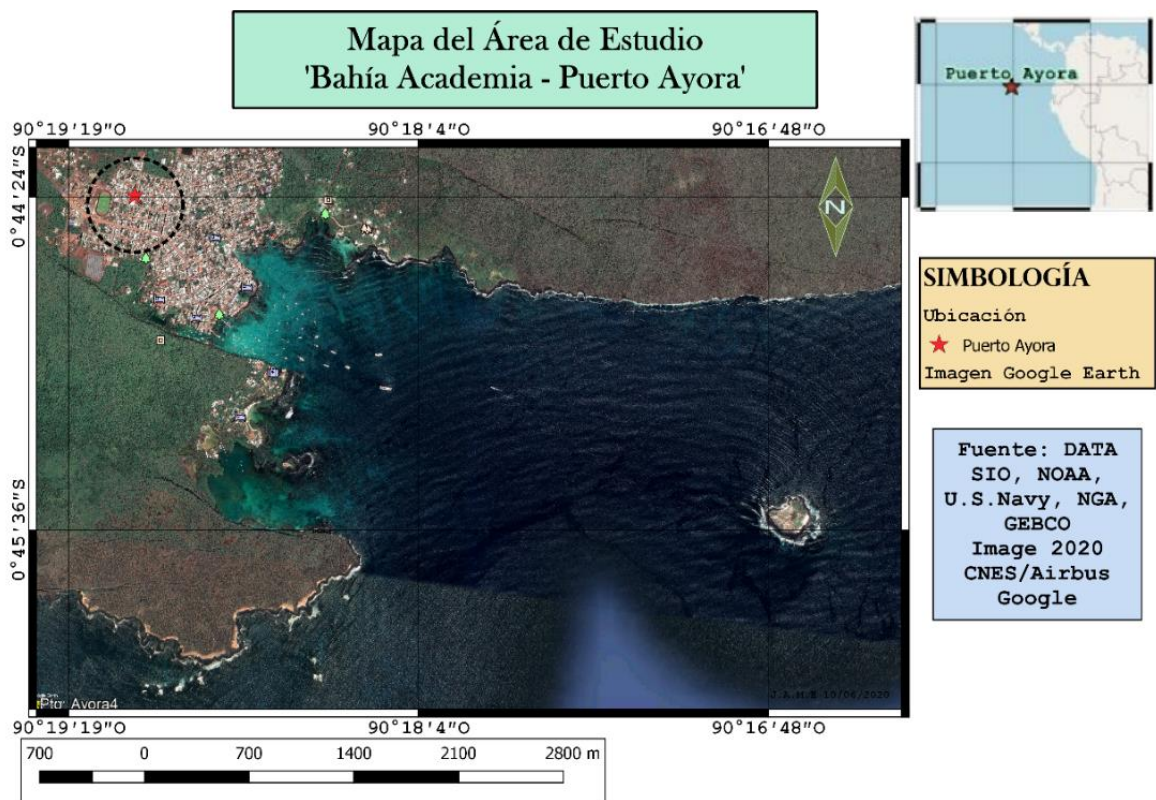
A continuación, se presentan breves descripciones de las características de la zona de estudio, teorías necesarias para comprender el modelamiento, y conceptos sobre el funcionamiento de un sistema portuario.

## 1.5.1 Área de estudio

### 1.5.1.1 Ubicación

La parroquia Puerto Ayora pertenece a la Isla Santa Cruz, una de las islas que conforma el archipiélago de Galápagos, y según datos del Censo del 2010 realizado por el INEC tiene una población de 15393 habitantes, que se dedican principalmente al turismo, gastronomía, artesanía y pesca.

Esta parroquia posee un puerto natural llamado con el mismo nombre, rodeado de la Bahía Academia, la cual será el área de estudio en este proyecto.



**Imagen 1.1.- Área de estudio**

### **1.5.1.2 Climatología**

En 1965, el Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI) instaló una estación meteorológica en Puerto Ayora, la misma que se encuentra administrada por la Estación Científica Charles Darwin.

Entre los instrumentos que cuenta la estación está un pluviómetro, un psicómetro y un heliógrafo.

De acuerdo con la información brindada por estos sensores, Puerto Ayora tiene variaciones de temperatura que oscilan entre los 19 y 31°C, mientras que el viento dominante proviene de una dirección de 182°, con una velocidad máxima de 12.6 m/s (Van Adrichem S., Guinee B. Steenman Y., Verbart J., Zijlstra J. (2019)).

### **1.5.1.3 Condiciones Oceanográficas**

#### **1.5.1.4 Mareas**

Las mareas son variaciones del nivel del mar, las mismas que son generadas por la fuerza gravitacional de la luna y el sol. La amplitud que las mareas pueden llegar a presentar es amplificada a medida que esta se propaga a regiones costeras, esto es como consecuencia de la conservación del flujo de energía de la onda de marea que experimenta asomeramiento (Lizano, O. G. (2006)).

En Ecuador, las mareas son definidas como semidiurnas, es decir que a diario existen dos alturas máximas y dos alturas mínimas y estos patrones de marea tiene un periodo de aproximadamente 12 horas.

#### **1.5.1.5 Oleaje**

El oleaje en la zona de estudio tiene características de mar de leva, además se conoce según Nativí Merchán S., López Merchán M., Martillo Bustamante C (2018) que el oleaje predominante durante todo el año proviene del suroeste, con presencia de oleaje noroeste durante la época húmeda. Además, en esta publicación se menciona que el oleaje podría

estar influenciado por el abrigo que presenta la isla debido a su posición espacial, al estar rodeada de más islas, a excepción del sur dónde se encuentra desprotegido provocando así mayor influencia del oleaje que proviene del suroeste.

De forma natural el oleaje se propaga desde aguas profundas a intermedias y poco profundas, produciéndose cambios en la altura, longitud y dirección de las olas hasta que finalmente van perdiendo energía y rompen. La transformación del oleaje se da debido a que las olas se ven influenciadas por el lecho marino a través de procesos como difracción refracción, la fricción del fondo y rotura de las olas.

De acuerdo con el análisis de refracción realizado por la metodología de la ilustración de las ortogonales de las crestas, se conoce que la ubicación donde se encuentra el muelle de carga en Puerto Ayora se encuentra protegido por el oleaje (Oceanografía Costera, 2018). En la Imagen 1.2 se observa el proceso de transmisión de energía de una dirección a otra durante el desplazamiento de la ola, y esto es lo conocido como refracción.

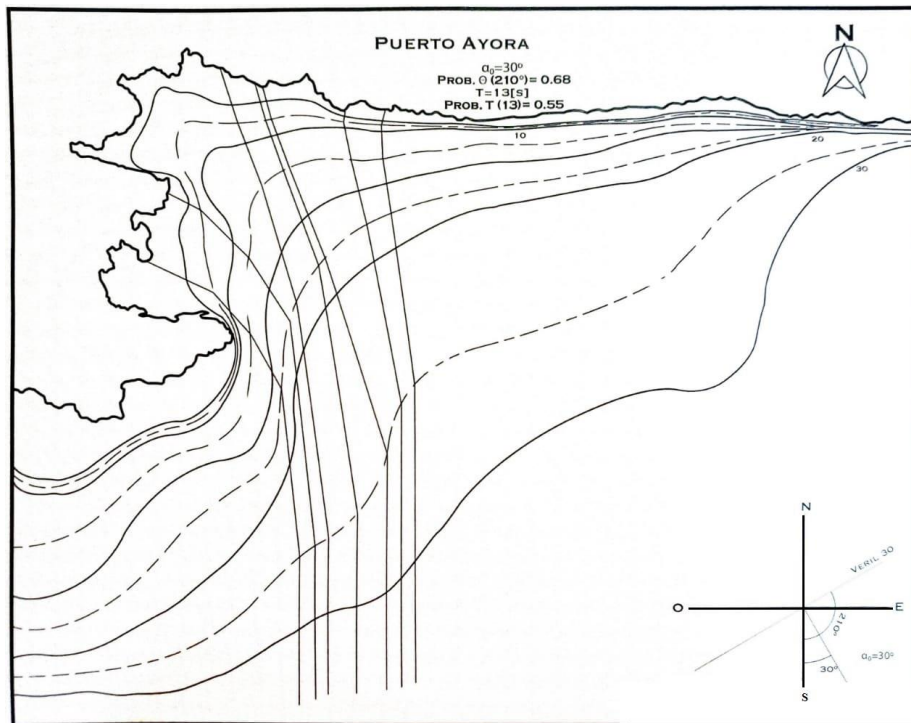


Imagen 1.2.- Refracción en Bahía Academia (Oceanografía Costera, 2018)



### 1.5.1.6 Condiciones Geomorfológicas

Del estudio de Nativí Merchán S., López Merchán M., Martillo Bustamante C (2018) se conoce que la clasificación del perfil costero de la Isla Santa cruz está dada de la siguiente forma: el 46,57% está comprendida por zonas rocosas y acantilados, 52,68% de zonas bajas de playa y manglares, y finalmente un 0,75% de perfil urbano. Se conoce también que la isla presenta, en toda la costa, una intercalación de morfologías altas y bajas; pero en la zona noreste predominan los acantilados.

**Tabla 1.1.- Longitud y porcentajes de las zonas costeras. Nativí Merchán S., López Merchán M., Martillo Bustamante C (2018)**

| <b>Unidad</b> | <b>Longitud (m)</b> | <b>Porcentaje del Perfil</b> |
|---------------|---------------------|------------------------------|
| Zona rocosa   | 72131,12            | 33,61                        |
| Acantilado    | 27813,68            | 12,96                        |
| Playa         | 55061,63            | 25,66                        |
| Manglar       | 57975,69            | 27,02                        |
| Perfil Urbano | 1608,98             | 0,75                         |
| Total         | 214591,09           | 100                          |

### 1.5.2 Modelos que promedian la fase

Existen varios tipos de modelos, los que resuelven la fase y los que promedian la fase. Los modelos que resuelven la fase son aquellos fundamentados en las ecuaciones no estacionarios de conservación de masa y de cantidad de movimiento; por el contrario, los modelos que promedian a fase se basan en la conservación de la energía espectral y consideran la asunción que las propiedades de las olas varían a escala de longitud de onda, tal como lo indica el concepto del espectro de ola de Pierson y Moskowitz (1964).

#### 1.5.2.1 Delft 3D Wave

Wave es uno de los módulos que ofrece el modelo Delft 3D, desarrollado por Delft University of Technology, en los Países Bajos. Este módulo integra al modelo SWAN, siglas de



Simulating Waves Nearshore, el mismo que modela el oleaje en dos dimensiones, además permite la generación del oleaje espectral por efecto de la acción del viento y la propagación del mismo oleaje hacia la costa (Gyssels, P., Baldissone, C. M., Hillman, G., Corral, M., Pagot, M., Brea, D., & Farias, H. D. (2013)).

Delft 3D Wave es un modelo de tercera generación diseñado específicamente para modelar ondas de aguas poca profundas, y es completamente espectral. Que sea un modelo de tercera generación implica que no hay necesidad de comparar predicciones de modelos con espectros parametrizados ya que el modelo reproduce explícitamente los procesos físicos que definen el estado del mar (Komen, G et al., 1996).

La propagación de ondas en este modelo se basa en la teoría de ondas lineales incluyendo el efecto de las corrientes. Además, según Camarena Calderón, R.A (2012) el modelo incluye todos los procesos físicos relevantes de propagación, generación y disipación de ondas, tales como:

- Refracción
- Asomeramiento
- Crecimiento de ola debido al viento
- Disipación de la ola debido al white-capping
- Disipación debido a la fricción con el fondo
- Disipación por rompimiento de ola
- Bloqueo de onda debido a una corriente opuesta
- Interacción de onda no lineal en aguas profundas
- Interacción de onda no lineal en aguas someras
- Transmisión y reflexión de la energía de onda debido a la presencia de obstáculos

Para poder realizar el modelaje se requiere tener una grilla que incluya la zona de estudio, ésta puede ser rectangular o curvilínea según sea la necesidad del estudio, y de esto también dependerá qué tan fina será la grilla. De la misma forma es importante tener la

mayor cantidad de datos batimétricos posibles de tal manera que se logre abarcar la zona de estudio. Para efecto de esto, Delft 3D ofrece dos herramientas RGFGRID y QUICKIN.

## **RGFGRID**

El propósito de RGFGRID es crear, modificar y visualizar cuadrículas ortogonales y curvilíneas para el módulo Delft3D-FLOW y WAVE.

Las cuadrículas curvilíneas se aplican en modelos para proporcionar una resolución de cuadrícula alta en el área de interés y una resolución baja en otros lugares, lo que ahorra esfuerzo computacional (Delft 3D, 2020).

## **QUICKIN**

El propósito principal de QUICKIN es crear, manipular y visualizar batimetrías de modelos para los módulos Delft3D FLOW y WAVE (flujo y transporte bidimensional y tridimensional y propagación de onda corta 2D) (Delft 3D, 2020).

### **1.5.3 Sistema portuario**

De acuerdo con Díez, A.M, Muñoz, C.E., & Marín, J.M (2016), los puertos son interfaces entre los distintos modos de transporte, y se dice que son eficientes cuando constan de infraestructura y equipamiento adecuado, mano de obra eficiente, equipo de trabajo bien calificado y vías de comunicación.

Un aspecto importante es el tiempo de estancia en el puerto, puesto que la reducción del tiempo de estancia permite aumentar el tiempo disponible para hacer viajes adicionales y reducir los costos que involucran la estancia de un buque en el puerto.

A pesar de que existen terminales polivalentes, las infraestructuras son diseñadas dependiendo del tipo de carga que está destinada a llegar ya sea mercancía general, contenedores, productos refrigerados, graneles o pasajeros.

La necesidad de la Isla Santa Cruz es tener un puerto que permita el atraque de buques portacontenedores. El objetivo fundamental de este tipo de terminal es proporcionar las facilidades para el intercambio de contenedores entre el transporte terrestre y marítimo de tal forma que se produzca en óptimas condiciones de rapidez, eficiencia y seguridad.

Las terminales de contenedores se caracterizan por tener varios subsistemas relacionados entre sí los cuales, según García, T. R. (2016) son:

Carga – descarga: Zona donde se trasladan los contenedores desde mar a tierra y viceversa.

Almacenamiento: Zona donde se depositan los contenedores. Esta zona requiere de gran extensión ya que se debe dividir los contenedores de acuerdo con el tipo de almacenamiento que requiere y su manipulación.

Recepción y entrega: Se producen intercambios entre los modos de transporte.

Interconexión: En esta zona se dan los movimientos internos dentro de la terminal para conectar los subsistemas.

Existen distintos factores que se deben considerar cuando se va a elegir la ubicación de un muelle.

De acuerdo con Camarena, Ricardo (2012), se debe tomar en cuenta los accesos externos, el área y la profundidad de la zona, la topografía, hidrología y meteorología del sitio de interés.

**Tabla 1.2.- Factores principales en la selección de la ubicación de un puerto. Camarena, Ricardo (2012)**

| <b>Factor</b>                        | <b>Considerations</b>  |
|--------------------------------------|--|
| <b>External Access</b>               | <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Adequate depths and clearance for safe navigability</li> <li>2. Land access developed to provide required land transportation linkage.</li> </ol>  |
| <b>Size and Depth</b>                | <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Protected water depth and space adequate to accommodate intended vessel traffic.</li> <li>2. Land areas of sufficient size and elevation.</li> <li>3. Potential for future enlargement or change in harbour use.</li> </ol>  |
| <b>Physical and Topographic</b>      | <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Sheltering from winds and ocean waves; natural sheltering features such as headlands, offshore reefs, and islands will reduce both artificial sheltering requirements (breakwaters) and costs.</li> <li>2. Limited fetch. The protected water area shall not contain segments of sufficient fetch.</li> <li>3. Bottom. Heavy, stiff, or over consolidated clays furnish the best holding ground for anchors. Sands will provide acceptable holding ground.</li> <li>4. Dredging. Avoid locations involving dredging of large quantities of rock or other hard bottoms.</li> <li>5. Shoreline relief. Land adjacent to shoreline should gradually slope away from beach. Avoid locations with pronounced topographic relief (cliffs) adjacent to shoreline.</li> <li>6. Upland drainage. Preferably, the upland area should be naturally well drained.</li> </ol>   |
| <b>Hydrographic and Hydrological</b> | <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Variations in water level. The range between water level extremes due to cumulative effects of astronomical and storm tides as well as flood flows in river-affected harbours should be minimized as far as practicable.</li> <li>2. Currents. Current velocity should be minimum and, except for localized areas and/or special considerations, should not exceed 4 knots.</li> <li>3. Water circulation. Water basins should have sufficient natural circulation.</li> <li>4. Sedimentation. The effect of the harbour site on natural regimes of coastal and riverine sediment transport and supply must be thoroughly evaluated. It is desirable not to interfere with the natural regime of sediment movements. The effects of harbour development on the sediment system may require maintenance dredging and/or shore-stabilization needs that must be considered as part of the overall development effort.</li> </ol> |
| <b>Meteorological</b>                | <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Storm. Avoid locations subject to the direct effects of pronounced, severe, and frequent storms.</li> <li>2. Fog. Consider local variation in fog intensity and avoid the more severe sites where practicable.</li> <li>3. Ice. Avoid locations that might be ice-locked for several months a year.</li> </ol>   |

Las características de cada uno de los factores dependerán del objetivo del puerto ya sea artesanal, costero, offshore o de aguas profundas; además del tipo de barco que atracará, el tipo de carga que va a recibir y de la zona donde se pretende colocar la facilidad portuaria.

#### 1.5.4 Buque de diseño

Actualmente el buque que presta servicio a todo el archipiélago, incluyendo la Isla Santa Cruz, es el buque Fusion 2, el mismo que transporta contenedores. Las características se ven reflejadas en la Tabla 1.2.



Imagen 1.3.- Buque Fusion 2

Tabla 1.3.- Características del buque Fusion 2.

|                           |                      |
|---------------------------|----------------------|
| <b>Capacidad de carga</b> | 4,407 tns – 320 TEUs |
| <b>Eslora total</b>       | 104.75 m             |
| <b>Manga</b>              | 16.4 m               |
| <b>Puntal</b>             | 8.3 m                |
| <b>Calado</b>             | 6.55 m               |
| <b>TRB</b>                | 4,004.76             |
| <b>TRN</b>                | 2,052.33             |

# CAPÍTULO 2

## 2. METODOLOGÍA

En este proyecto se va a seguir el modelo propuesto por Pahl y Beitz (1977), el cual indica las distintas etapas del diseño; sin embargo, este trabajo se enfoca en el diseño conceptual, el mismo que según este modelo consiste en identificar los problemas esenciales, establecer estructuras funcionales, buscar los principios de solución, combinar y confirmar en variantes de conceptos y finalmente evaluar por criterios técnicos y económicos.

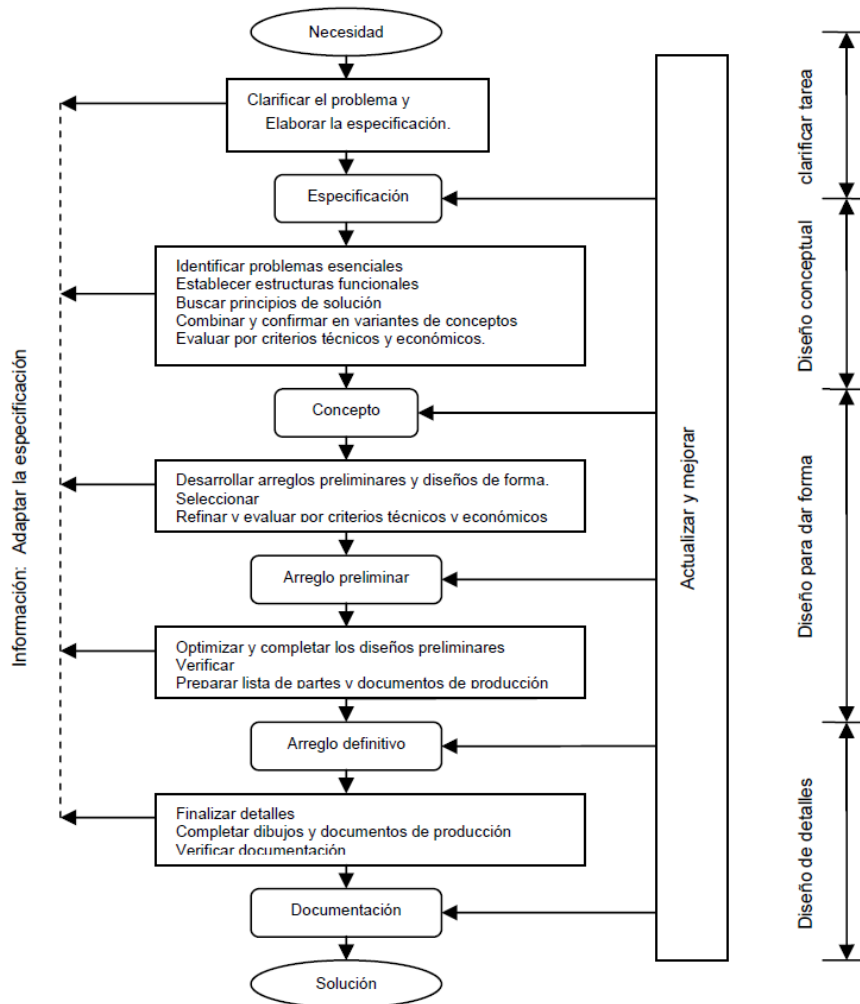
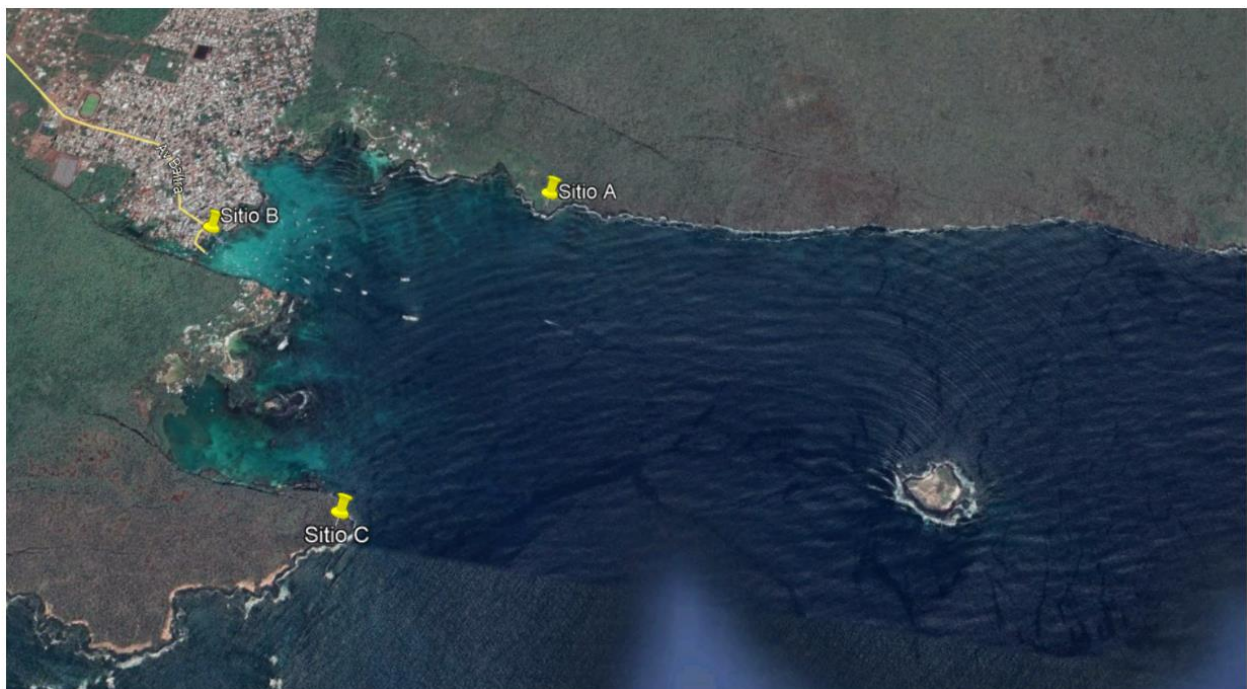


Imagen 2.1.- Modelo de Pahl y Beitz. Cross (1999)

La etapa de identificación de problemas esenciales fue efectuada en el Capítulo anterior, luego, en la etapa de establecer estructuras funcionales se definió que el proyecto se basa en los aspectos oceanográficos, portuarios y ambientales. Para determinar los principios de solución, se determinó que debe desarrollarse en 3 etapas: selección del sitio, modelación de la propagación del oleaje y el diseño de la facilidad portuaria. Para verificar la elección del sitio se combina los resultados obtenidos en los principios de solución.

## 2.1 Selección del sitio

El primer inconveniente era definir qué sitio elegir para la ubicación de la facilidad portuaria, para esto se propuso 3 sitios posibles para colocar el puerto.



**Imagen 2.2.- Sitios propuestos para la ubicación de la facilidad portuaria.**

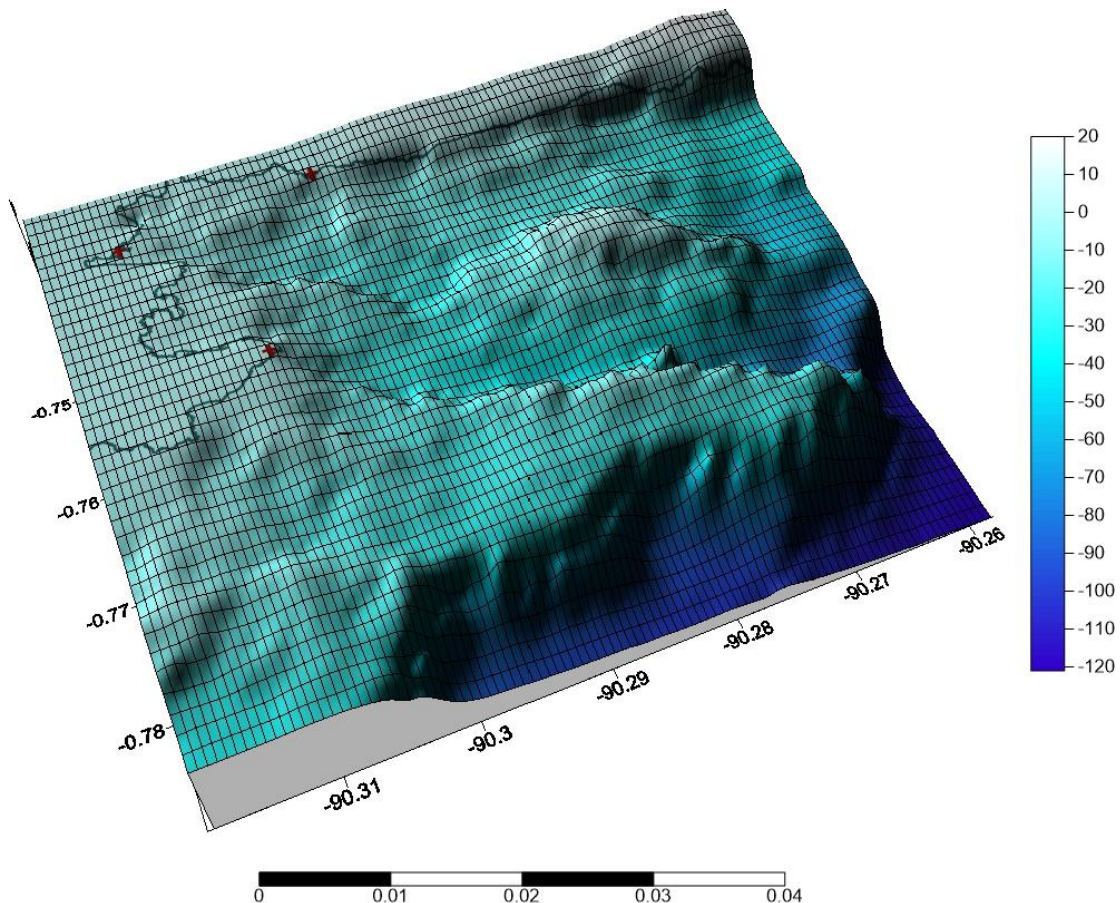
Como referencia se tiene:

- Sitio A: Cercana a la Estación Charles Darwin
- Sitio B: En el actual muelle de Puerto Ayora



- Sitio C: Punta Estrada

Para definir las alternativas de posible ubicación del puerto, se basó en la batimetría reflejada en la carta náutica de la Bahía Academia, puesto que el objetivo es que pueda ingresar buques con características del Fusion 2, y para tener una visualización más clara de la geomorfología se procedió a elaborar una batimetría en 3D de la Bahía mediante el software Surfer, la misma que se observa en la Imagen 2.2. Además, se requiere que el puerto se encuentre a una distancia prudencial a la población, para así evitar demoras en la distribución de la carga que llegue al puerto.



**Imagen 2.3.- Batimetría en 3D de la Bahía Academia.**



Al no ser posible una visita técnica a la isla, se tuvo que acudir a hacer un reconocimiento de la zona mediante Google Earth, en este paso se pudo identificar la presencia de grietas, lagunas costeras, vías y las áreas que donde la población se asienta.

En el proceso de elección fue necesario identificar los criterios esenciales que determinen una zona apropiada para la ubicación de un muelle.

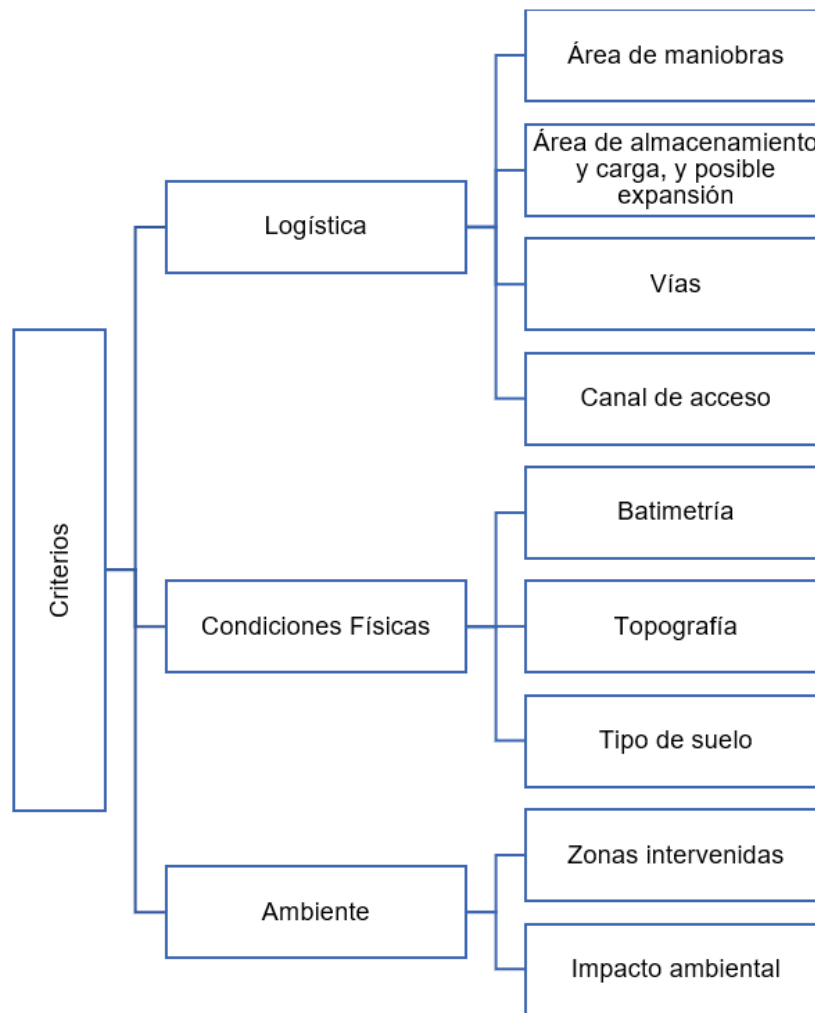
La metodología utilizada para calificar los parámetros fue la escala de Lickert, la misma que es un tipo de escala aditiva que corresponde a un nivel de medición ordinal que consiste en una serie de ítems o juicios ante los cuales se requiere la reacción de los interesados o actores en la toma de decisión (Garzón Castrillón, M. A., & Fischer, A. L. (2010)).

Se determinaron 3 criterios principales, que a su vez contienen subcriterios.

**Tabla 2.1 Criterios para la selección del sitio.**

| Criterio            |
|---------------------|
| Logística           |
| Condiciones físicas |
| Ambiente            |

Se decidió establecer subcriterios a los criterios principales ya que de esta forma se podría ser más específico sobre el factor que se desea evaluar. Para la elección de los subcriterios se basó en el trabajo de la Elección de un sitio para la colocación de un muelle en Sudáfrica (Notteboom, T. (2011)), junto a entrevistas de profesionales en el área. Las preguntas que fueron realizadas para obtener la información de la Matriz de Lickert se encuentran descritas en Apéndices A.



**Imagen 2.4 Criterios y subcriterios para seleccionar la ubicación del puerto.**

Los puntajes que se otorgan se ven reflejados en la tabla presentada, donde 5 es la reacción de estar muy de acuerdo en que el sitio es el más adecuado con respecto a cierto criterio, es decir que el sitio que tenga mayor puntaje sería el seleccionado.

**Tabla 2.2 Escala de Lickert para la selección del sitio**

| <b>Criterio</b>   | <b>Puntaje</b> |
|-------------------|----------------|
| Muy de acuerdo    | 4              |
| De acuerdo        | 3              |
| En desacuerdo     | 2              |
| Muy en desacuerdo | 1              |

Para validar el resultado, se entrevistó a varios actores en la toma de decisiones en Galápagos y expertos en logística:

- PhD. Noemi d'ouzoville.
- Ing. Clemente Rendón.
- Msc. Eduardo Espinoza. Responsable del Proceso de Monitoreo de Ecosistemas Marino – Costero.
- Ing. Schubert Lombeida.
- Msc. Isabel Timpe. ESPOL-Galápagos
- Msc. Alejandro Chanabá, Subdecano FIMCM - ESPOL
- Ing. Ernesto Tovar. Consultor privado.

## **2.2 Modelación de la propagación del oleaje en Delft 3D – WAVE**

Para colocar un muelle es importante que las condiciones de oleaje sean apropiadas tanto para las maniobras de atraque, como para su permanencia en el puerto y para la infraestructura; por este motivo se consideró necesario realizar el modelaje de la propagación del oleaje para evitar colocar en un sitio donde pueda perjudicar al sistema portuario.

Los resultados del modelo proporcionan condiciones de onda para cada grilla. Las condiciones más relevantes son las olas cercanas a la costa.

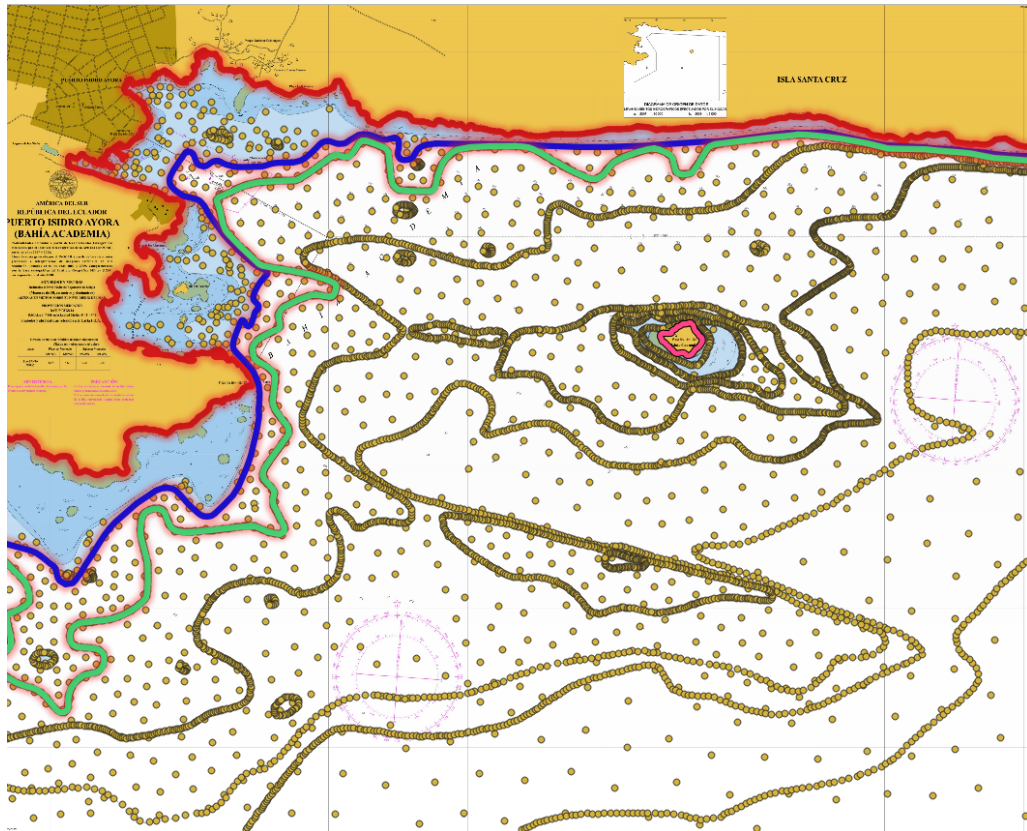
## 2.2.1 Datos de entrada

- Batimetría
- Grilla
- Condiciones de borde
  - Altura significativa
  - Dirección del oleaje
  - Periodo Pico
  - Velocidad del viento
  - Dirección del viento

### 2.2.1.1 Batimetría

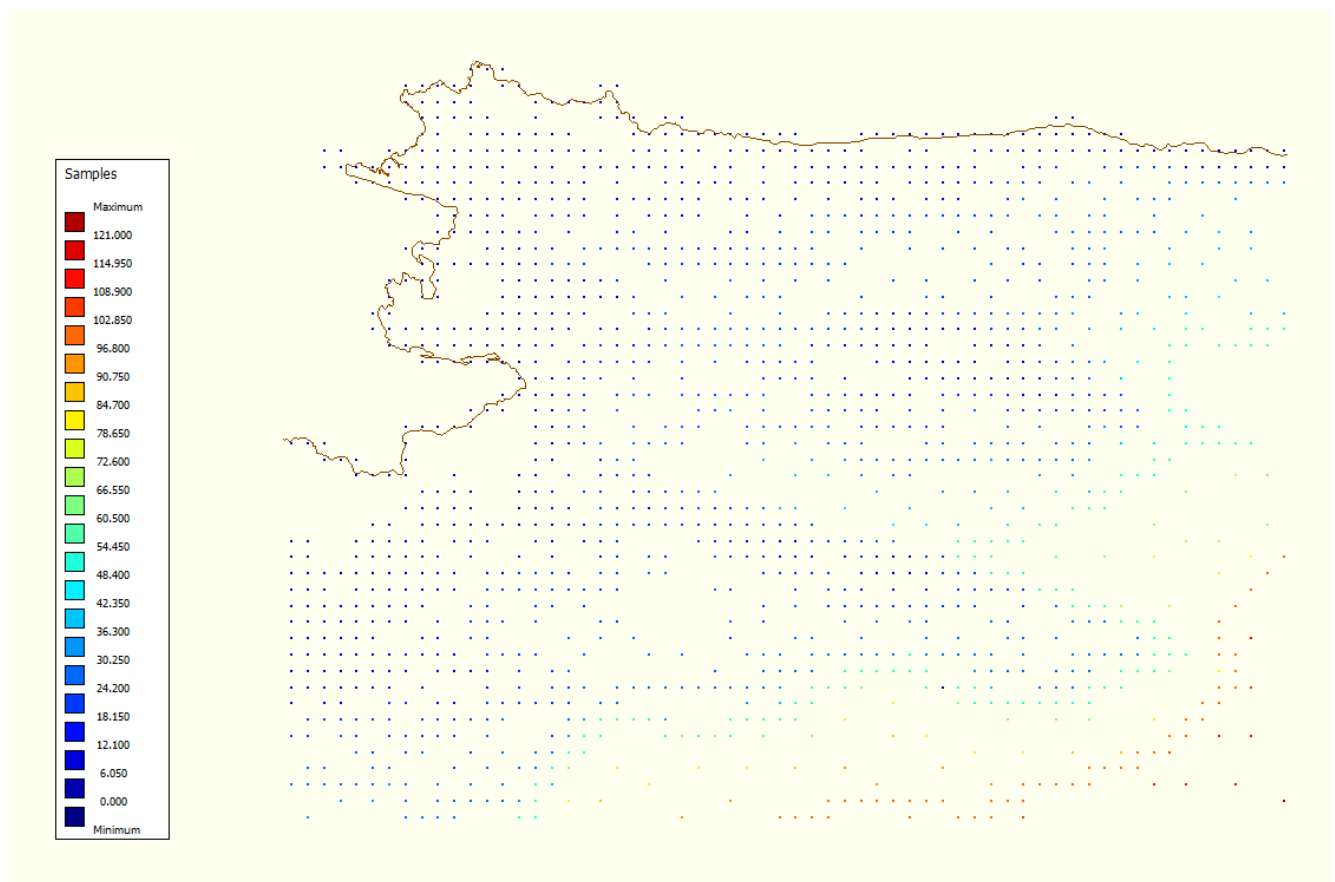
Para la batimetría se digitalizó la carta náutica IOA 20310 mediante el software QGIS, creando una capa vectorial con la información presente en la carta náutica.

**Imagen 2.5.- Digitalización de la carta náutica en QGIS.**



Estos datos de batimetría fueron exportados en formato .csv y posteriormente convertidos en formato. xyz, formato en el cual lee Delft 3D.

Luego se usó la opción RGFRID que ofrece el software Delft 3D para cargar la batimetría como “Samples” y generar la grilla. Es importante recalcar, que este software identifica a los valores de profundidad como positivos, y los que representan elevaciones (topográficos) como valores negativos. Una vez elaborada la grilla, se pudo interpolar los datos batimétricos, tal como se muestra en la Imagen 2.10.



**Imagen 2.6.- Batimetría cargada en RGFRID**

### 2.2.1.2 Grilla

El modelo Delft3D-WAVE requiere una cuadrícula espacial en la que calcular la onda propagación. En este estudio, la grilla fue elaborada manualmente (Imagen 2.6); pero como se observa en la Imagen 2.7, no abarcaría todos los sitios de la zona de estudio de la Bahía, puesto que la grilla sería muy gruesa, por este motivo se procedió a modificar la configuración que se puede observar en la Imagen 2.8, teniendo dentro de cada grilla verde 30 celdas en sentido M y 30 celdas en N. Al guardar la grilla se obtendrá con formato .grd el mismo que se lo cargará para correr el modelo.

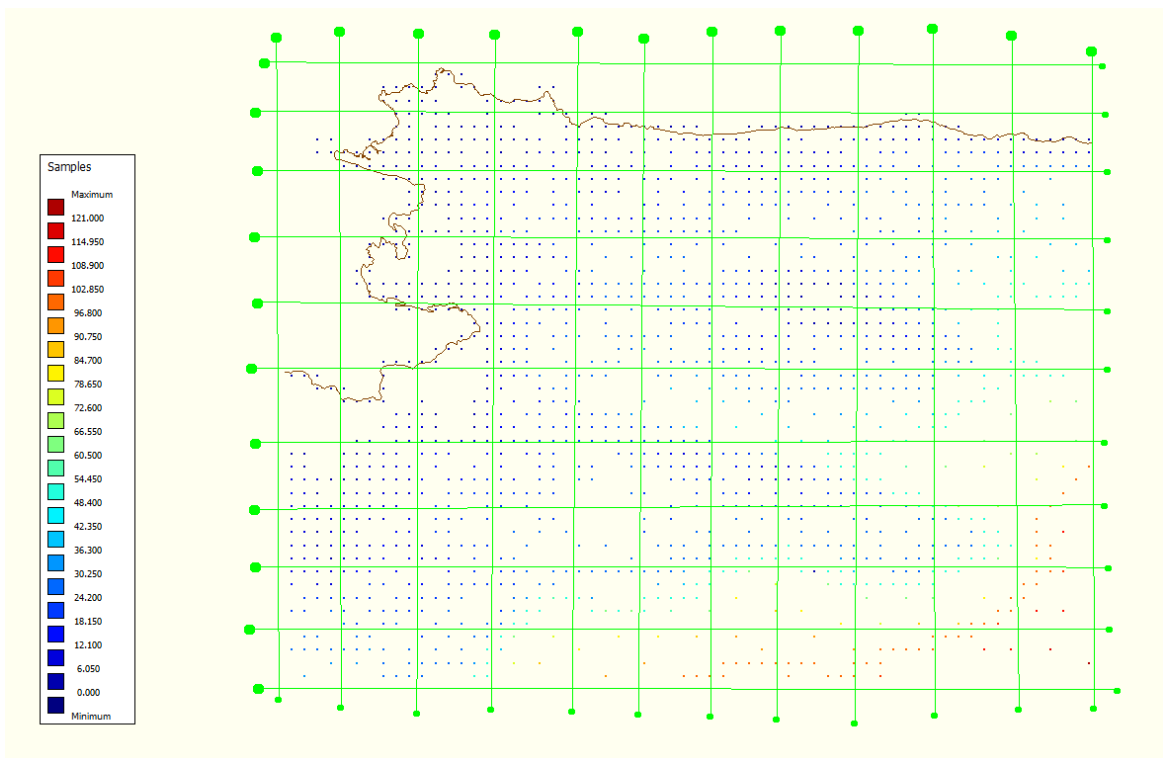


Imagen 2.7.- Elaboración de “Splines” en RGFGRID

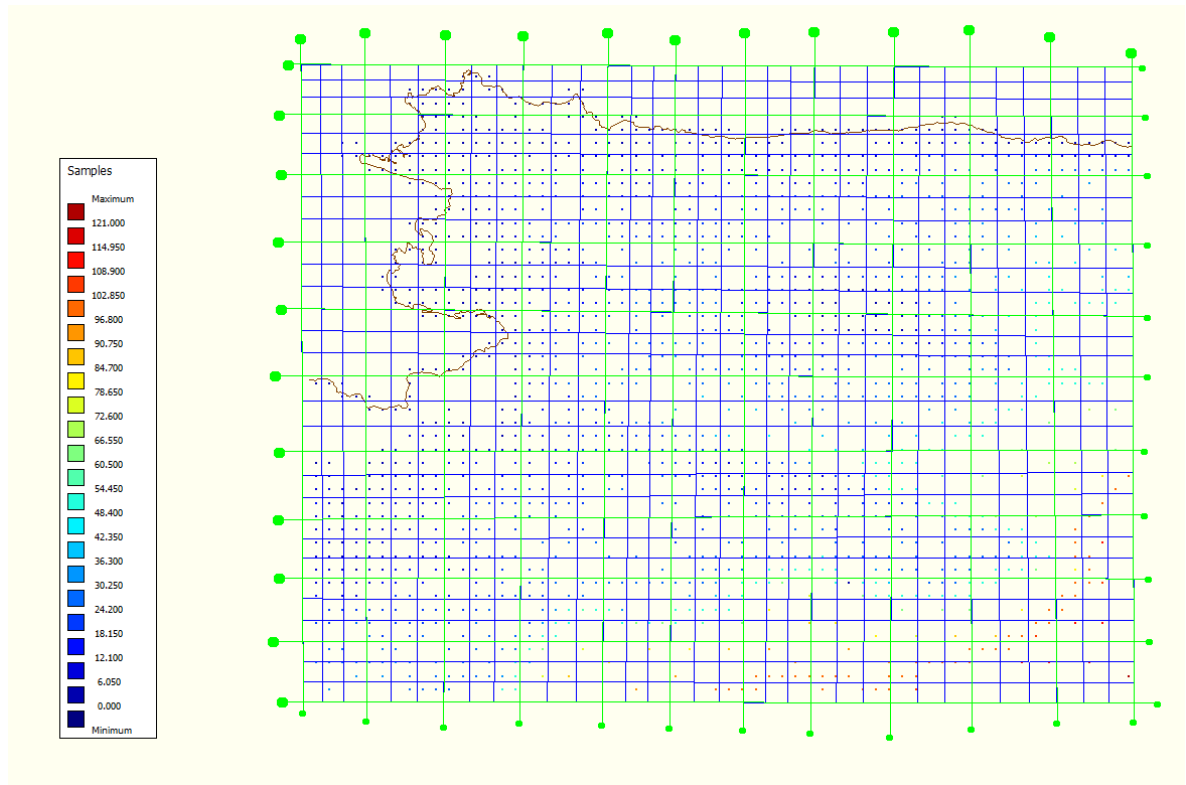


Imagen 2.8.- Grilla elaborada manualmente

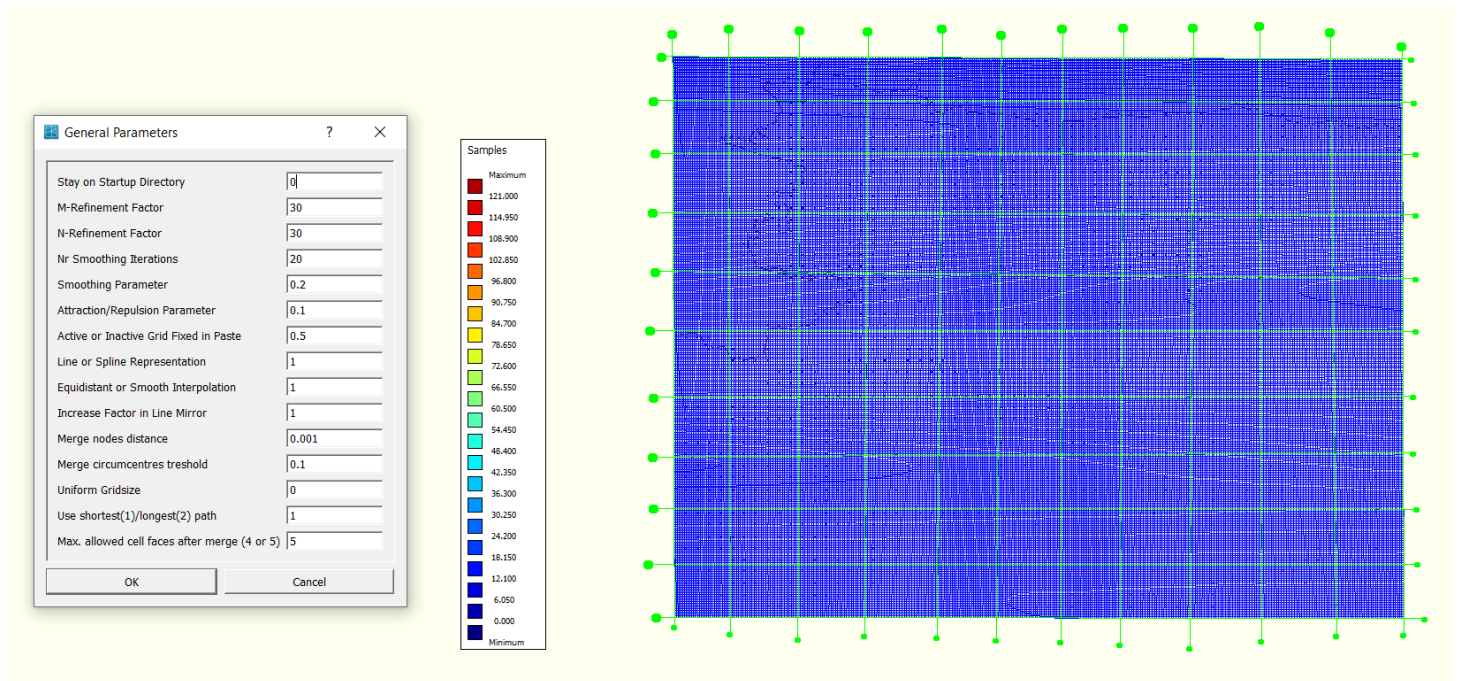
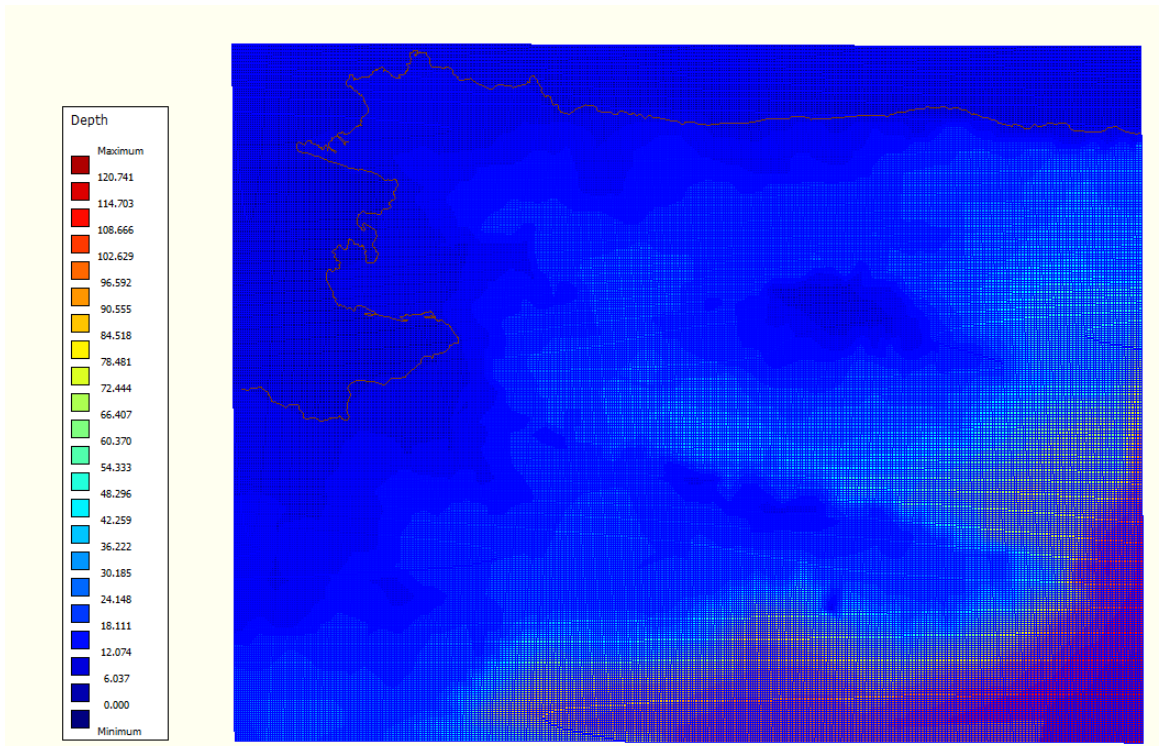


Imagen 2.9.- Grilla mejorada



Una vez elaborada la grilla se pudo interpolar los datos batimétricos mediante la opción QUICKIN, teniendo como resultado de la interpolación la Imagen 2.10. Al guardar la batimetría interpolada se obtiene un archivo .dep.



**Imagen 2.10.- Interpolación de datos batimétricos**

## **2.2.2 Condiciones de borde**

Las condiciones de borde o de frontera, son condiciones iniciales donde se define todos los datos relacionados a la corrida de la simulación.

Para determinar con precisión el clima de olas local en Bahía Academia, el modelo Delft3D-Wave requiere ser forzado utilizando condiciones de borde de olas y viento realistas y precisas, para lograrlo se utilizó herramientas como el modelo WAVEWATCH III, y revisión bibliográfica de proyectos realizados anteriormente tal como Floating photovoltaics for the Galapagos Islands (van Adrichem, S., Guinee, B., Steenman, Y., Verbart, J., Zilkstra, J. (2019)).



### 2.2.2.1 Altura significativa, Periodo pico y Dirección del oleaje

Los datos utilizados fueron obtenidos del modelo WAVEWATCHIII en la coordenada 90.28 W – 0.75 ° S, punto situado en la Bahía Academia. WW3 que contiene datos históricos en el periodo de 1996 - 2017. Se utilizó MATLAB para descargar los datos a través del servidor OPENDAP, y luego se los procesó pudiendo visualizar los espectros.

### 2.2.2.2 Velocidad y Dirección del viento

Se consideró valores extremos como velocidad del viento puesto que para diseñar se debe tomar en cuenta los escenarios más drásticos.

### 2.2.2.3 Parámetros Físicos

El modelo requiere el ingreso de valores de constantes tales como gravedad, densidad del agua, también necesita que se especifique qué procesos están involucrados. En el caso de ese proyecto se decidió considerar el espectro tipo Jonswap, de la misma forma se incluyó el proceso de whitecapping el mismo que es el rompimiento inducido por el fondo en aguas someras, según Komen et al.

**Tabla 2.3.- Condiciones de borde para el modelo**

|                             |                        |
|-----------------------------|------------------------|
| <b>Altura significativa</b> | 1.51 m                 |
| <b>Periodo pico</b>         | 13.12 s                |
| <b>Dirección del oleaje</b> | 207°                   |
| <b>Velocidad del viento</b> | 12.6 m/s               |
| <b>Dirección del viento</b> | 182°                   |
| <b>Gravedad</b>             | 9.8 m/s <sup>2</sup>   |
| <b>Densidad del agua</b>    | 1025 kg/m <sup>3</sup> |
| <b>Espectro</b>             | Jonswap                |

El archivo de entrada para proceder a correr el programa en Delft tiene extensión .mdw el mismo que significa “Máster Definition Wave”, el cual va a contener toda la información ingresada como las condiciones de borde, la grilla y la batimetría para ejecutar la simulación.

## 2.3 Diseño conceptual

### 2.3.1 Área del puerto

Para poder dimensionar el puerto es necesario conocer cuánto es el volumen de carga que llega aproximadamente al puerto, para esto se basó en el análisis realizado por WildAid (2012), organización que se dedica a realizar estudios a favor de la conservación de la vida silvestre y a proteger zonas frágiles, el mismo que indica que para el año 2040 se va a requerir que llegue 7879.4 m<sup>2</sup> de carga, éste estudio considera que habrá crecimiento poblacional. En base a esto, se va a necesitar que el área total del predio sea aproximadamente 15,591 m<sup>2</sup>.

**Tabla 2.4.- Área operacional estimada para terminales de carga a fin de cubrir la demanda de carga de Galápagos para el año 2040. WildAid (2012)**

| Parámetro                                 | Criterios                         | Guayaquil     | Terminal       | San Cristóbal  | Santa Cruz      | Isabela        |
|---|-----------------------------------|---------------|----------------|----------------|-----------------|----------------|
| Volumen de carga por viaje y destino      |                                   | 1,400         | 1,400          | 399.0          | 7879.4          | 1,110.9        |
| Velocidad de descarga                     |                                   | 40.00         | 40.00          | 15.00          | 15.00           | 15.00          |
| Espacio para manipulación de la carga     | 2x Carga por viaje                | 2,800         | 2,800          | 798.0          | 1,708.0         | 240.8          |
| Espacio de almacenamiento                 | Toneladas x 3m <sup>2</sup>       | 8,400         | 8,400          | 2,394.0        | 5,124.0         | 722.4          |
| Camiones en el área de carga              |                                   | 3             | 3              | 2              | 2               | 1              |
| Camiones en el área de espera             |                                   | 6             | 8              | 4              | 4               | 2              |
| Área de carga de camiones m <sup>2</sup>  | 50m <sup>2</sup> /camión          | 150.00        | 150.00         | 100.00         | 100.00          | 50.00          |
| Área de espera de camiones m <sup>2</sup> | 50m <sup>2</sup> /camión          | 300.00        | 400.00         | 200.00         | 200.00          | 100.00         |
| Área de cuarentena m <sup>2</sup>         | 10% de la carga x 3m <sup>2</sup> | 840.00        | 840.00         | 239.4          | 512.40          | 72.24          |
| Área de oficinas de operaciones           | m <sup>2</sup>                    | 500           | 500            | 150            | 150             | 150            |
| Área de recepción/inspección de la carga  | m <sup>2</sup>                    | 1,500         | 1,500          | 150            | 150             | 150            |
| <b>Área operativa requerida</b>           | <b>m<sup>2</sup></b>              | <b>11,690</b> | <b>11,790</b>  | <b>3,233.4</b> | <b>6,236.4</b>  | <b>1,244.6</b> |
| <b>Área administrativa requerida (*)</b>  | <b>m<sup>2</sup></b>              | <b>17,535</b> | <b>117,685</b> | <b>4,850.1</b> | <b>9,354.6</b>  | <b>1,867.0</b> |
| <b>Área TOTAL requerida</b>               | <b>m<sup>2</sup></b>              | <b>29,225</b> | <b>29,475</b>  | <b>8,083.5</b> | <b>15,591.0</b> | <b>3,111.6</b> |

(\*) Área administrativa: estacionamiento, calles, veredas, recolección de residuos, cuarentena, carga especializada (que requiere separación), oficinas de la terminal y del SICGAL, protección perimetral, etc.

En un sistema portuario es necesario ofrecerle las mismas facilidades tanto en el puerto de embarque de carga, como en el que se va a desembarcar la carga; por este motivo fue imprescindible conocer la distribución de Puerto Gal, puerto en Guayaquil de donde sale el buque que transporta la carga al archipiélago, para esto se realizó una visita técnica con todas las medidas de bioseguridad. En la visita se pudo identificar la distribución general del puerto incluyendo sus bodegas, el área de almacenamiento, oficinas administrativas y el muelle de atraque, conociendo así que este puerto tiene una extensión de 31,592.59 m<sup>2</sup>; pero es debido a que almacenan la carga para la Isla Santa Cruz, San Cristóbal e Isabela. En Apéndice B se encuentra la información obtenida durante la visita a este puerto.

### **2.3.2 Operación de descarga**

Entre los objetivos del proyecto está lograr tener mayor fluidez en la descarga de los contenedores, por lo cual se ha determinado que es preciso el uso de grúas que permanezcan en el muelle, de tal forma que, al atracar el buque, estas se encuentren disponibles para realizar la operación de descarga deslizándose a lo largo del muelle.

Existen varios tipos de grúas tales como móviles, fijas, de pórtico, grúas apiladoras, apiladores de alcance (reach stacker); sin embargo, se pudo identificar que en Puerto Gal utilizan las propias grúas del buque para la descarga de contenedores y en ciertas ocasiones una grúa tipo Gottwald.

Conociendo el tamaño de carga que requiere la isla que ingrese al puerto se decidió que la más apropiada según el funcionamiento que brinda sería una grúa móvil tipo Gottwald modelo 2, y así mismo se cumpliría con el hecho de que ambos puertos, el de embarque y desembarque tengan el mismo tipo de grúa para facilidades logísticas.



**Imagen 2.9.- Grúa tipo Gottwald modelo 2. (KONECRANES, 2020)**

Las características de esta grúa se encuentran descritas a continuación.

**Tabla 2.5.- Características generales de la grúa tipo Gottwald modelo 2. (KONECRANES, 2020)**

|  |             |
|--|-------------|
| <b>Máxima capacidad de levantamiento</b>         | 80 t        |
| <b>Máximo radio de giro</b>                      | 35 m        |
| <b>Punto de pivote de la pluma</b>               | 15.6 m      |
| <b>Cabina de torre (a la altura de los ojos)</b> | 22 m        |
| <b>Base de apoyo</b>                             | 11.5 x 11 m |
| <b>Peso</b>                                      | 240 t       |

### **2.3.3 Muelle de atraque**

Para elegir el tipo de muelle de atraque se propuso dos alternativas.

- Muelle en espigón (Alternativa A)
- Muelle tipo T (Alternativa B)

Es importante recalcar que el diseño del muelle de este proyecto se basa específicamente en el atraque de buques con las mismas condiciones del buque de diseño (Fusion 2), es decir que buques más grandes requerirían otras condiciones debido a que requerirían mayor profundidad en para realizar sus operaciones de manera segura.

Para ambas propuestas se determinaron los siguientes criterios constructivos:

- Dimensiones de diseño (profundidad, longitud y ancho)
- Área de construcción
- Método constructivo
- Juntas constructivas
- Número de pilotes

#### **2.3.3.1 Dimensiones de diseño**

Conociendo que el calado del buque de diseño es de 6.55 m, se determinó qué profundidad es más prudente. En base a las Recomendaciones para Obras Marítimas (ROM, 2001) se tuvo considerar el resguardo bajo la quilla, la imprecisión de fondeos, depósitos de sedimentos y las irregularidades. Los valores que se adoptaron se ven reflejados en la Tabla 2.6.

**Tabla 2.6 Consideraciones para determinar profundidad del muelle.**

|                                  |        |
|----------------------------------|--------|
| <b>Calado del buque</b>          | 6.55 m |
| <b>Resguardo bajo la quilla</b>  | 1.0 m  |
| <b>Precisión de sondeos</b>      | 0.1 m  |
| <b>Depósito de sedimentos</b>    | 0.5 m  |
| <b>Irregularidades del fondo</b> | 0.1 m  |

Al sumar todos los valores se obtuvo una profundidad de 8.25 m; sin embargo, se decidió trabajar con 8.4 m debido que esta profundidad se encuentra más cerca a la ubicación de los sitios que permitiría el atraque de buques con características del buque de diseño.

Como herramienta para lograr mayor eficacia en la descarga de los contenedores se usó en el diseño las grúas tipo Gottwald, y estas al permanecer en el muelle deben ser consideradas tanto como carga, como también en la elección de la dimensión para el ancho de muelle.

Otro aspecto importante son las vías que tenga el muelle; puesto que al querer trasladar los contenedores se va a requerir de camiones, y para evitar tráfico se necesitarían de dos vías, uno en sentido de ida y otra de regreso. Estas cualidades fueron analizadas para definir el ancho del muelle.

### **2.3.3.2 Método constructivo**

Para la elección del método constructivo se tuvo que evaluar las posibilidades de aplicar ese método en la isla, puesto que se conoce que todos los materiales deben ser transportados desde la parte continental por lo que los costos serían muy altos.

### **2.3.3.3 Juntas constructivas**

Se estimó la cantidad y distribución de las juntas constructivas en ambas alternativas, tomando en consideración que las juntas tengan 8 cm de ancho.

#### **2.3.3.4 Número de pilotes**

Una vez conocidas las dimensiones de las alternativas se procedió a estimar la cantidad de pilotes que tendría cada alternativa tomando en cuenta que los pilotes tendrían 0.6 m por 0.6 m y con una separación de 4 m.

#### **2.3.3.5 Costos aproximados**

Se determinó los costos que involucra el hincado de los pilotes y el costo de la grúa, posteriormente se realizará una comparación para la elección del tipo de hincado de pilotes ya sea desde tierra o mediante barcazas. También mediante los costos se elegirá el tipo de muelle más conveniente.

# CAPÍTULO 3

## 3. RESULTADOS

Los resultados de este proyecto se presentan según las etapas que fueron planteadas en la Metodología.

- Selección del sitio
- Modelamiento de la propagación del oleaje en Delft 3D Wave
- Diseño conceptual

### 3.1 Selección del sitio

Los resultados obtenidos fueron en base a las opiniones de los principales actores y expertos mencionados en el Capítulo 1. Las preguntas planteadas para conocer el punto de vista de los actores se encuentran detalladas en el Apéndice A-1, así también se encuentran los resultados con respecto a cada actor.

Se calificó según los criterios planteados bajo la escala de 5 como Muy de acuerdo, y 1 como Muy en desacuerdo. En la Tabla 3.1 se aprecian los valores promedio de la evaluación; de esta manera, se obtuvo que el Sitio A es el óptimo según los actores.



**Tabla 3.1.- Promedio de calificación de los subcriterios para selección del sitio.**

| CRITERIOS           | SUBCRITERIOS  | SITIO A | SITIO B | SITIO C |
|---------------------|---|---------|---------|---------|
| Logística           | Área de maniobras                                   | 3.6     | 1.6     | 3.6     |
|                     | Área de almacenamiento y carga, y posible expansión | 3.7     | 1       | 4       |
|                     | Vías  | 3.6     | 1       | 3.6     |
| Condiciones Físicas | Canal de acceso                                     | 3.7     | 1       | 3.7     |
|                     | Batimetría  | 2.8     | 1       | 4       |
|                     | Topografía  | 3.6     | 3.6     | 3.4     |
|                     | Tipo de suelo                                       | 3       | 3       | 3       |
|                     | Vientos   | 2.2     | 4       | 1.2     |
|                     | Oleaje  | 2       | 4       | 1.2     |
| Ambiente            | Zonas intervenidas                                  | 1       | 4       | 1       |
|                     | Impacto ambiental                                   | 1       | 4       | 1       |
| TOTAL               |   | 30.1    | 28.2    | 29.7    |

### 3.2 Modelación de la propagación del oleaje en Delft 3D – WAVE

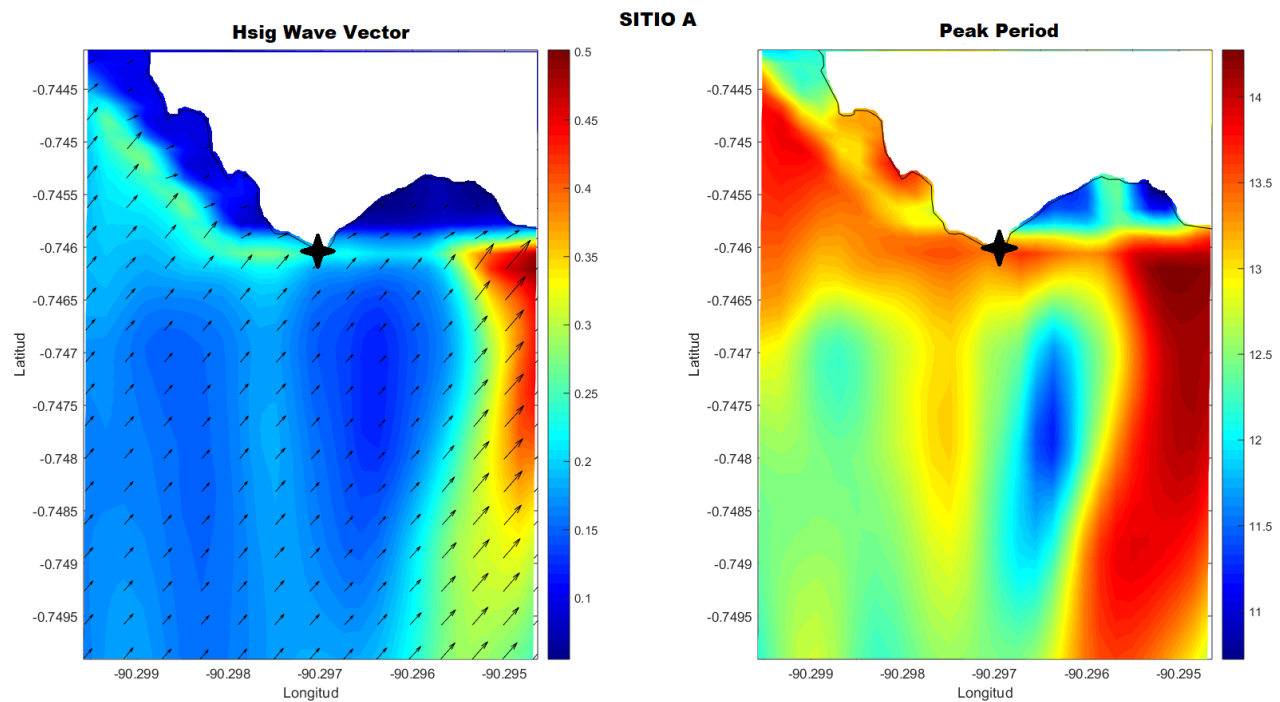
A pesar de haber sido elegido el sitio A como óptimo para la colocación del muelle, es necesario conocer cómo son las condiciones oceanográficas en esos sitios para poder ofrecer una zona segura de atraque al buque. Por este motivo se modeló la propagación del oleaje usando las condiciones de borde especificadas en la metodología.

En las propuestas de ubicación del puerto, sitio A y sitio C se puede apreciar que la dirección en la que viene el oleaje es desde el suroeste, lo mismo que se puede verificar mediante los vectores; sin embargo la diferencia entre estos sitios radica en la altura del oleaje ya que en el sitio A se observa que en la punta, que es donde estaría ubicado el muelle, la altura del oleaje oscila entre los 0.25 y 0.30 m de altura lo que indica que son valores bastantes

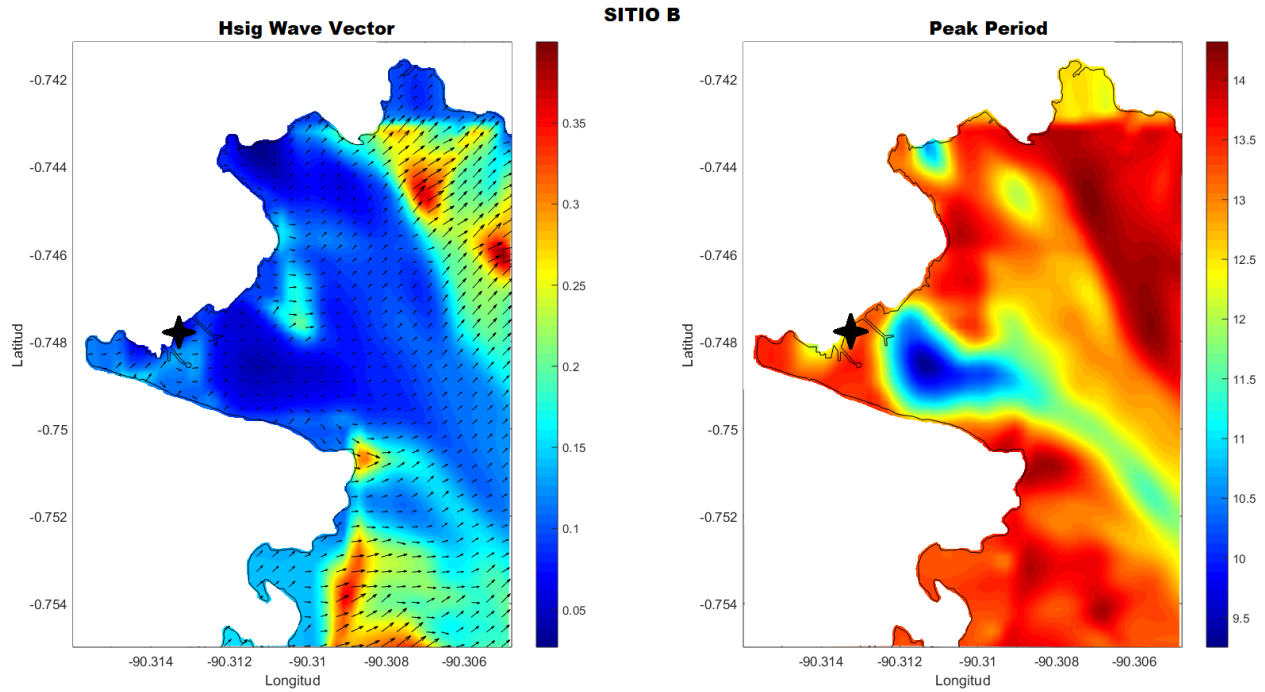
seguros para que no se vea afectado la estructura por rebose del oleaje. Adicionalmente, presenta un periodo de oleaje de entre 13 a 13.5 s.

Por otro lado, el sitio C se encuentra ubicado en una zona altamente energética puesto que es una punta pronunciada y toda la energía se acumula en ese lugar, en donde se supondría colocar el muelle. Los colores rojos y naranjas indican que los valores de altura oscilan entre 0.8 a 1.0 m, además los vectores tienen mayor tamaño lo que quiere decir que su dirección viene con mayor intensidad. Con respecto al periodo de oleaje, se observa que se presenta entre 13 a 13.5 s.

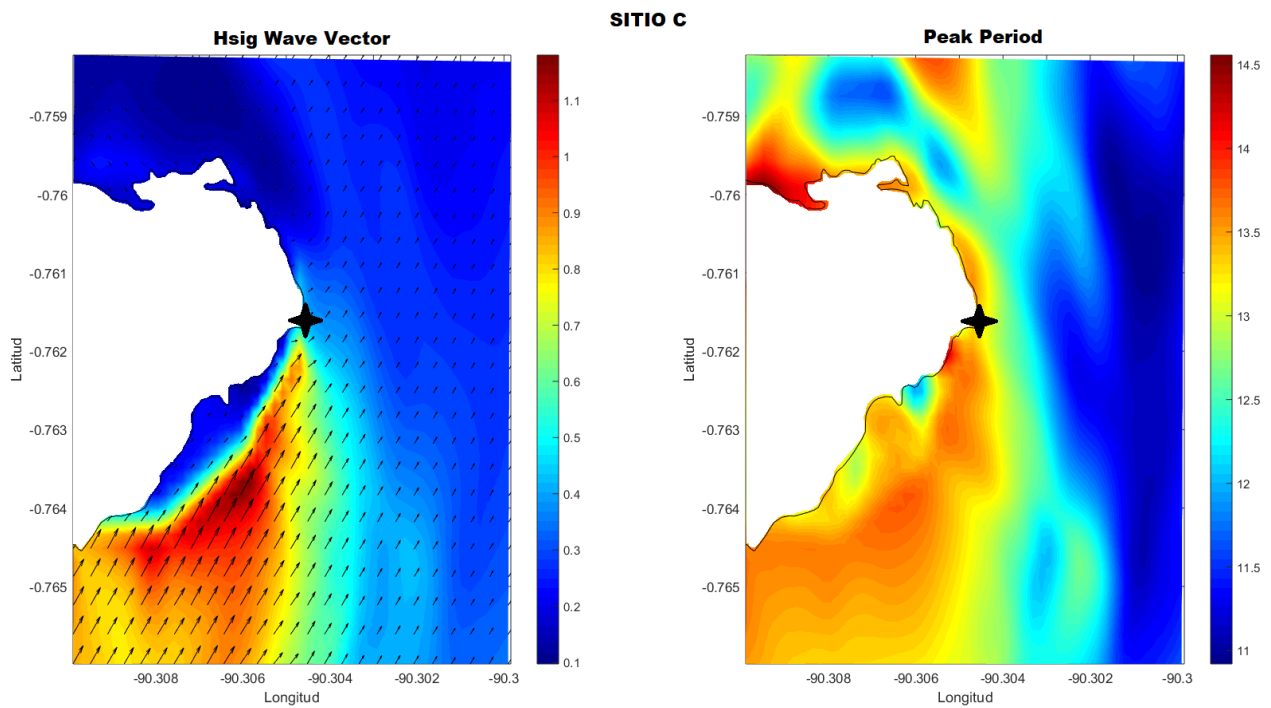
Por otro lado, el sitio B se encuentra en una zona más protegida con respecto al oleaje ya que su ubicación está encerrada y, como fue visto en el Marco Teórico, la refracción indica que la energía del oleaje disminuye de una forma considerable y esto se ve reflejado en el modelaje ya que presenta alturas de ola más bajas, de 0.10 a 0.15 m; sin embargo se presenta periodos más seguidos de 13 a 14.5 s aproximadamente.



**Imagen 3.1 Altura significativa y Periodo pico en el Sitio A**



**Imagen 3.2 Altura significativa y Periodo pico en el Sitio B**



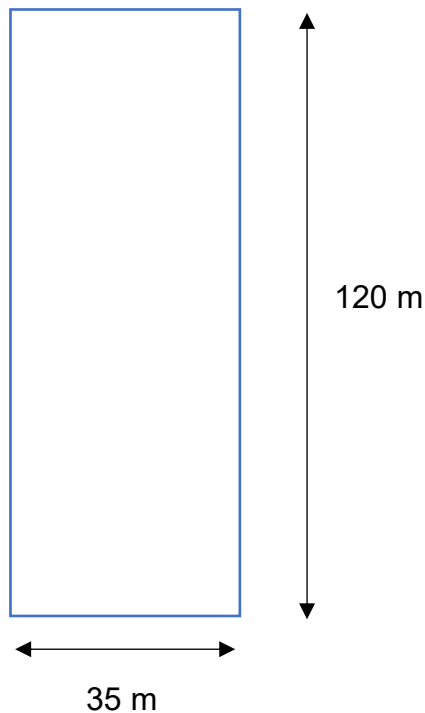
**Imagen 3.3 Altura significativa y Periodo pico en el Sitio C**

### 3.2 Diseño conceptual

#### 3.2.1 Dimensionamiento

La Alternativa “A” ha sido proyectada con 120 m de longitud, puesto que esta distancia es la que hay desde la línea de costa hasta encontrarnos con una profundidad de 8.4 m, y 35 m, ancho apropiado considerado el radio de giro de la grúa y las vías que ocuparían en total 12 m, teniendo finalmente un área de construcción de 4200 m<sup>2</sup>. Al tratarse de un muelle en espigón significa que se encuentra ubicado de forma perpendicular a la línea de costa. Por otro lado, la Alternativa “B” fue concebida con 115 m de longitud por 35 m de ancho, más una pasarela de 120 m de longitud por 15 m de ancho, obteniendo así 5300 m<sup>2</sup> de área de construcción.

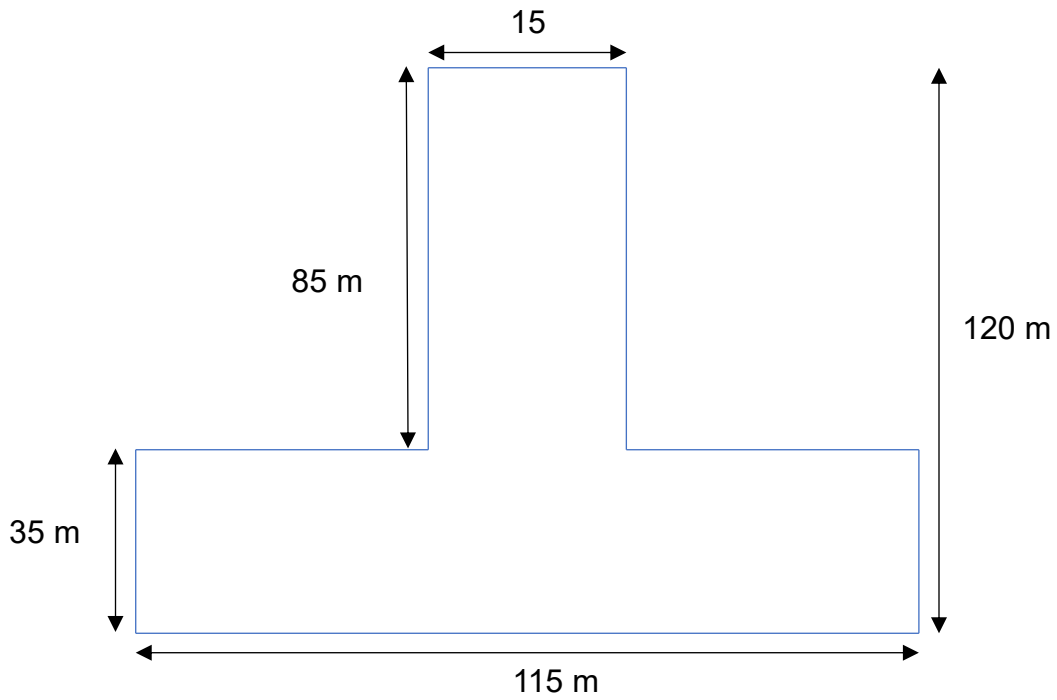
A continuación, se observan los esquemas de las dos alternativas con las dimensiones propuestas.



**Imagen 2.10.- Alternativa A: Muelle en espigón.**

**Tabla 3.2.- Dimensiones Alternativa A**

|                             |                     |
|-----------------------------|---------------------|
| <b>Longitud</b>             | 120 m               |
| <b>Ancho</b>                | 35 m                |
| <b>Puesto de atraque</b>    | 1                   |
| <b>Área de construcción</b> | 4200 m <sup>2</sup> |



**Imagen 2.11.- Alternativa B. Muelle tipo T.**

**Tabla 3.3.- Dimensiones Alternativa B**

|                             |                     |
|-----------------------------|---------------------|
| <b>Longitud</b>             | 115 m               |
| <b>Ancho</b>                | 35 m                |
| <b>Longitud pasarela</b>    | 120 m               |
| <b>Ancho pasarela</b>       | 15 m                |
| <b>Puesto de atraque</b>    | 1                   |
| <b>Área de construcción</b> | 5300 m <sup>2</sup> |

### **3.2.2 Método constructivo**

En ambos casos de diseño el método constructivo se consideró que sea sustentado por pilotes de hormigón hincados sobre el fondo, sobre los cuales se montarán elementos prefabricados sustentantes de una loseta de hormigón que los integra. El método es similar para ambos casos.

Para determinar la longitud del pilote se usó la ROM (2001), la misma que indica que se debe realizar la siguiente operación.

$$L = D + A.R + E + E.A \quad (2.1)$$

Siendo:

D: profundidad

A.R: Anclado en la roca

E: Empotramiento

E.A: Espejo de agua

En el capítulo anterior fue establecido que la profundidad adecuada para el atraque sea de 8.4 m. Para el anclado en la roca es necesario recordar el origen volcánico del archipiélago,

por este motivo se decidió que tomara un valor de 2 m. Con respecto al empotramiento que debe tener el pilote se eligió un valor de 6 m, el mismo que se considera prudencial para que se encuentre bien sustentado. Finalmente, el espejo de agua se refiere a la subida y bajada de la marea, la misma que tomó un valor de 1.5 m.

$$L = 8.4 \text{ m} + 2 \text{ m} + 6 \text{ m} + 1.5 \text{ m}$$

$$L = 17.75 \text{ m}$$

Para efectos de facilidad en el momento de implementar los pilotes, se ha decidido usar como longitud de pilote 20 m.

### 3.2.3 Juntas constructivas

La Alternativa A fue diseñada con 2 juntas, cada una con 8 cm de ancho, mientras que la Alternativa B fue diseñada con 4 juntas debidamente distribuidas.

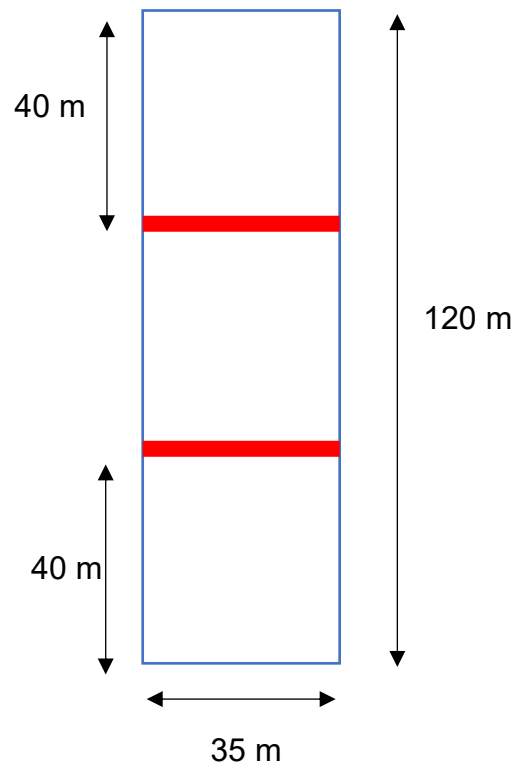


Imagen 2.12.- Distribución de las juntas Alternativa "A"

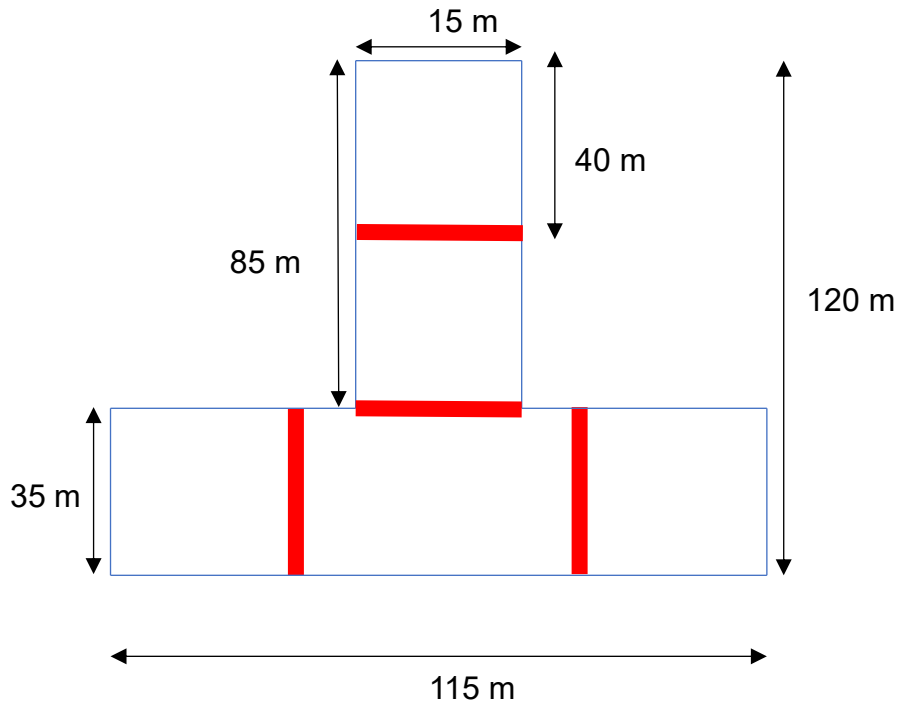


Imagen 2.13.- Distribución de las juntas Alternativa “B”

### 3.2.4 Número de pilotes

Aplicando las características de pilote previamente definidas en la metodología, y siguiendo la recomendación de ROM (2001) la misma que indica que los pilotes no deben tener más de 8 m entre ellos, se decidió que tengan 4 m de separación.

Se obtuvo como resultado lo expresado en la Tabla 2.9.

Tabla 3.4.- Número de pilotes

|                                 | Número de pilotes |
|---------------------------------|-------------------|
| Propuesta 1 (Muelle en espigón) | 208               |
| Propuesta 2 (Muelle tipo T)     | 276               |



### 3.2.5 Ubicación

Si bien es cierto el sitio A fue seleccionado y posteriormente corroborado mediante la modelación de la propagación del oleaje; sin embargo, es necesario poder tener una idea de cómo sería la distribución física en el sitio elegido.

Tomando en cuenta lo mencionado en el Capítulo 2 de la Metodología acerca de la extensión que debería tener el puerto, se tiene como resultado la imagen 2.14 la misma que cumple con lo proyectado para el 2040 de tener 1.6 hectáreas; pero también se elaboró una distribución pensando en que más en el futuro podría requerirse de mayor espacio y esta alternativa tendría una extensión de 2,1 hectáreas. En ambas distribuciones se ha concebido la idea de que el puerto tenga su patio de almacenamiento, bodegas, oficinas para el personal competente de realizar los controles de bioseguridad y narcóticos, así también personal de la naviera.



**Imagen 2.14.- Extensión del puerto según lo proyectado para el año 2040.**



**Imagen 2.14.-** Facilidad portuaria implantada en el sitio seleccionado.

En Apéndice E, se puede observar la representación gráfica el puerto con el buque atracado en el muelle.

### **3.3 Costos aproximados**

#### **3.3.1 Hincado de pilote**

Debido que no existe información del costo de materiales y de la mano de obra en Galápagos se realizó el análisis mediante costos en la parte continental del país, y luego se procedió a determinar un factor para obtener un valor aproximado de lo que lo que serían los costos del hincado de pilotes.

Tabla 3.5.- Costos de equipos, mano de obra y materiales para el hincado de pilote.

| EQUIPOS  |          |             |                     |                      |            |
|--|----------|-------------|---------------------|----------------------|------------|
| Descripción                                      | Cantidad | Tarifa (\$) | Costo por hora (\$) | Rendimiento          | Costo (\$) |
|  | A        | B           | C=AxB               | R                    | D=CxD      |
| Herramientas menores                             | 1.00     | 1.00        | 1.00                | 0.53                 | 0.53       |
| Plataforma                                       | 0.05     | 150.00      | 7.50                | 0.53                 | 3.94       |
| Grúa 150 ton                                     | 0.05     | 300.00      | 15.00               | 0.53                 | 7.88       |
| <b>Subtotal</b>                                  |          |             |                     |                      | 12.35      |
| MANO DE OBRA                                     |          |             |                     |                      |            |
| Descripción                                      | Cantidad | Tarifa (\$) | Costo por hora (\$) | Rendimiento          | Costo (\$) |
|  | A        | B           | C=AxB               | R                    | D=CxD      |
| Operador de grúa                                 | 0.05     | 5.26        | 0.26                | 0.53                 | 0.14       |
| Chofer de plataforma                             | 0.05     | 5.26        | 0.26                | 0.53                 | 0.14       |
| Peón   | 4.00     | 3.58        | 14.32               | 0.53                 | 7.53       |
| <b>Subtotal</b>                                  |          |             |                     |                      | 7.81       |
| MATERIALES                                       |          |             |                     |                      |            |
| Descripción                                      |          | Unidad      | Cantidad            | Precio unitario (\$) | Costo (\$) |
|  |          |             | A                   | B                    | C=AxB      |
| Pilote prefabricado f'c=450 kg/cm2 de 60x60x20 m |          | ml          | 1.00                | 250.80               | 250.80     |
| <b>Subtotal</b>                                  |          |             |                     |                      | 250.80     |
| <b>TOTAL</b>                                     |          |             |                     |                      | 270.96     |

Con lo antes mostrado se tendría que para la colocación de 1 metro lineal de pilote en la zona de trabajo se requiere una inversión de aproximadamente \$270.96; pero el procedimiento del hincado tiene sus costos adicionales y también dependería del tipo de hincado ya sea desde tierra o desde el agua y esto se lo ve reflejado en la Tabla 2.11.

**Tabla 3.6.- Costos de equipos y mano de obra para el hincado de pilotes desde tierra.**

| <b>EQUIPOS</b>       |          |                      |                     |             |            |
|----------------------|----------|----------------------|---------------------|-------------|------------|
| Descripción          | Cantidad | Tarifa (\$)          | Costo por hora (\$) | Rendimiento | Costo (\$) |
|                      | A        | B                    | C=AxB               | R           | D=CxD      |
| Herramientas menores | 1.00     | 1.00                 | 1.00                | 0.33        | 0.33       |
| Martillo de golpe    | 1.00     | 50.00                | 50.00               | 0.33        | 16.29      |
| Grúa 150 ton         | 1.00     | 300.00               | 300.00              | 0.33        | 97.74      |
| <b>Subtotal</b>      |          |                      |                     |             | 114.36     |
| <b>MANO DE OBRA</b>  |          |                      |                     |             |            |
| Descripción          | Cantidad | Jornal por hora (\$) | Costo por hora (\$) | Rendimiento | Costo (\$) |
|                      | A        | B                    | C=AxB               | R           | D=CxD      |
| Operador de grúa     | 1.00     | 5.26                 | 5.26                | 0.33        | 1.71       |
| Operador de martillo | 1.00     | 5.26                 | 5.26                | 0.33        | 1.71       |
| Peón                 | 2.00     | 3.58                 | 7.16                | 0.33        | 2.33       |
| <b>Subtotal</b>      |          |                      |                     |             | 5.75       |
| <b>TOTAL</b>         |          |                      |                     |             | 120.11     |

Tabla 3.7.- Costos de equipos y mano de obra para el hincado de pilotes desde el agua.

| EQUIPOS                    |          |                      |                     |             |            |
|----------------------------|----------|----------------------|---------------------|-------------|------------|
| Descripción                | Cantidad | Tarifa (\$)          | Costo por hora (\$) | Rendimiento | Costo (\$) |
|                            | A        | B                    | C=AxB               | R           | D=CxD      |
| Herramientas menores       | 1.00     | 1.00                 | 1.00                | 0.51        | 0.51       |
| Martillo de golpe          | 1.00     | 50.00                | 50.00               | 0.51        | 25.45      |
| Grúa 150 ton               | 1.00     | 300.00               | 300.00              | 0.51        | 152.70     |
| Barcaza capacidad de 400 t | 1.00     | 229.00               | 229.00              | 0.51        | 116.56     |
| Remolcador                 | 1.00     | 93.75                | 93.75               | 0.51        | 47.72      |
| <b>Subtotal</b>            |          |                      |                     |             | 342.94     |
| MANO DE OBRA               |          |                      |                     |             |            |
| Descripción                | Cantidad | Jornal por hora (\$) | Costo por hora (\$) | Rendimiento | Costo (\$) |
|                            | A        | B                    | C=AxB               | R           | D=CxD      |
| Operador de grúa           | 1.00     | 5.26                 | 5.26                | 0.51        | 2.68       |
| Operador de martillo       | 1.00     | 5.26                 | 5.26                | 0.51        | 2.68       |
| Operador de barcaza        | 1.00     | 5.26                 | 5.26                | 0.51        | 2.68       |
| Operador de remolcador     | 1.00     | 5.26                 | 5.26                | 0.51        | 2.68       |
| <b>Subtotal</b>            |          |                      |                     |             | 10.72      |
| <b>TOTAL</b>               |          |                      |                     |             | 353.66     |

Comparando las dos opciones que existen para el hincado de pilotes se puede apreciar que el hincado en el agua es mucho más costoso que el realizado desde tierra. Para tener una idea más clara de cuánto costaría este proceso se realizó la multiplicación de los costos por metro lineal con respecto a las dimensiones propuestas de los muelles en espigón y tipo T; pero como fue mencionado, los valores descritos en las tablas representan costos en la parte continental, por lo que se ha decidido multiplicar por un factor de 2.5 con base en que la mano de obra es más costosa y los materiales por tener que ser transportados mediante vía marítima también poseen costos más elevados, sustentado también en que el Instituto Nacional de Estadísticas y Censos (INEC) en el 2016 mencionó que el costo de vida en el archipiélago es 80% más que en el resto del país.

Para determinar el costo aproximado de suministro y transporte del pilote prefabricado se tomó en consideración que las dimensiones son de 60x60x20 m con una resistencia del hormigón de 450kg/cm<sup>2</sup>.

En la tabla a continuación se presentan los valores totales aproximados que se tendría que invertir para ambas alternativas de muelles en la isla.

**Tabla 3.8.- Comparación de costos en el hincado de pilotes entre la propuesta de muelle en espigón y el muelle tipo T**

| Descripción  | Muelle en espigón | Muelle tipo T |
|--|-------------------|---------------|
| Equipos, mano de obra y materiales necesarios para el suministro y transporte de pilote prefabricado | \$2,817,984       | \$3,739,248   |
| Equipos y mano de obra necesario para el hincado de pilotes desde tierra                             | \$1,249,144       | \$1,657,518   |



|  |             |             |
|--|-------------|-------------|
| <b>Equipos y mano de obra necesario para el hincado de pilotes desde el agua</b> | \$3,678,064 | \$4,880,508 |
|--|-------------|-------------|

Con esto, se podría decir que el costo del transporte de los materiales para el hincado de pilotes y el propio procedimiento desde tierra para la implantación del muelle en espigón tendría un costo total aproximado de \$4,067,128; sin embargo, si se realizara el pilotaje desde el agua tendría un costo aproximado de \$6,496,048. Por otro lado, si se decidiera implantar un muelle tipo T, el hincado desde tierra tendría un costo de \$5,396,766 y desde el agua de \$8,619,756.

En vista a este análisis de costos, se determinó que la opción más acertada sería el muelle en espigón con una metodología constructiva de pilotes realizando el hincado desde tierra.

### **3.3.2 Grúa**

El costo aproximado de una grúa tipo Gottwald modelo 2 oscila entre los 3 y 4 millones de dólares.

# CAPÍTULO 4

## 4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Este proyecto es de gran importancia para futuros estudios más técnicos en la Bahía Academia porque se entrega la opción óptima para la colocación de un puerto en la Isla Santa Cruz, lo que es un aporte valioso ya que basado en la selección del sitio se podrían evaluar otros aspectos como Geológicos, Geotécnicos, Ambientales y los propios estructurales para la construcción del muelle.

La fortaleza de este proyecto es la inclusión de la opinión de los principales actores para la toma de decisiones de Galápagos debido que, al ser Reserva Natural, se debe procurar el mínimo impacto a las especies nativas, sin dejar a un lado el objetivo de evolucionar el sistema portuario. Adicionalmente, se realizó por primera vez la modelación de la propagación del oleaje con DELFT 3D lo cual brinda un soporte a la selección de la ubicación del puerto.

Respecto a las debilidades, se fundamentaron en la escasez de información libre sobre aspectos técnicos y estudios previos en la zona de análisis. La pandemia limitó la posibilidad de visitar la Isla; sin embargo, se logró ser proactivo y usar las herramientas disponibles para llevar a cabo con éxito el proyecto.

La importancia de este proyecto frente a otras investigaciones radica en que se está marcando un precedente con respecto al sitio más apropiado para la implementación de un puerto, considerando las características oceanográficas. Además, que se ha conversado con delegados de distintas instituciones para conocer su punto de vista y así fortalecer el trabajo realizado.

La continuación de este proyecto es imprescindible para lograr un sistema portuario integral, que logre beneficiar a la población sin escatimar el impacto ambiental, logrando finalmente posicionar en un mejor nivel el puerto del centro económico de Galápagos.



## **4.1 Conclusiones**

Se concluye que desde el punto de vista oceanográfico si existe la posibilidad de implantar una facilidad portuaria en la Bahía Academia, puesto que la propagación del oleaje en ciertas zonas de la Bahía son propicias para la seguridad del muelle, además que la batimetría permite que el buque Fusion 2 sea capaz de ingresar hacia la bahía.

De los resultados obtenidos en la Matriz de Lickert, el sitio "A", es considerado como el mejor para la implementación de un puerto según los criterios de Logística, Condiciones Físicas y Ambiente. Y, mediante la comprobación a través del modelaje de la propagación del oleaje en Delft 3D Wave, se corroboró que este sitio presenta un oleaje prudencial con alturas de 0.15 a 0.3 m siendo una condición adecuada para realizar las maniobras de atraque.

El tipo de muelle elegido para el puerto es de tipo espigón, con dimensiones acertadas para la colocación de dos vías para el tránsito de los tráileres y evitar tráfico, además de la permanencia de una grúa tipo Gottwald modelo 2 para facilitar la descarga de los contenedores. La metodología de construcción del muelle sería mediante pilotes hincados desde tierra teniendo un costo aproximado de \$4,067,128, este valor incluye el equipo, mano de obra y materiales para el suministro y transporte de los pilotes prefabricados, además de los equipos y mano de obra para realizar el procedimiento del hincado de los pilotes.

## **4.2 Recomendaciones**

Se recomienda:

- Determinar la factibilidad de la colocación de la facilidad portuaria desde el punto vista ambiental, por lo cual se deberá identificar las especies que habiten en la zona.
- Realizar un análisis geotécnico detallado de tal forma que se pueda identificar si la zona seleccionada es lo suficientemente resistente como para soportar toda la carga que involucra el ingreso de contenedores.
- Elaborar un análisis estructural del muelle considerando el tipo de muelle seleccionado y su metodología constructiva de pilotes.

- Modelar el oleaje y las mareas utilizando en conjunto los módulos Flow y Wave que ofrece Delft 3D.
- Elaborar un plan de manejo ambiental para todas las fases, construcción, operación y cierre.
- Implementar un plan de sistema portuario que incluya el aporte de un reglamento debidamente estructurado, infraestructura portuaria eficaz y un sistema de transporte seguro y regulado.
- Diseñar un canal de acceso para el ingreso del buque hasta el sitio de atraque, considerando también la navegación de embarcaciones de menor tamaño.

# BIBLIOGRAFÍA

- Camarena Calderon, R. A. (2012). Feasibility of a marina port along the Buenos Aires coast, Argentina.
- del Estado, P. (2001). ROM 0.0, Recomendaciones para obras marítimas. *Parte, 1*, 220.
- Díez, A. M., Muñoz, C. E., & Marín, J. M. (2016). Manual del transporte marítimo. Marge books
- Dirección del parque nacional de Galápagos. (2016). Construcción muelle de carga en Galápagos. Santa Cruz.
- Espinoza, M. E. (2018). *Gulf of guayaquil tidal simulation using delft3d hydrodynamic model during an El Niño event and Normal conditions*. Guayaquil: Escuela Superior Politécnica del Litoral.
- García, T. R. (2016). Aplicaciones tecnológicas en la logística de transportes portuarios. Las terminales de contenedores. *Revista Transporte y Territorio*, (14), 5-26.
- Garzón Castrillón, M. A., & Fischer, A. L. (2010). El aprendizaje organizacional, prueba piloto de instrumentos tipo Likert.
- Gobierno de Galápagos. (2013). Plan de desarrollo y ordenamiento territorial del cantón Santa Cruz.
- Gyssels, P., Baldissone, C. M., Hillman, G., Corral, M., Pagot, M., Brea, D., & Farias, H. D. (2013). Aplicaciones del modelo numérico Delft3D a diferentes problemas hidrosedimentológicos en casos argentinos. *Mecánica Computacional*, 32(33), 2757-2777.
- Lizano, O. G. (2006). Algunas características de las mareas en la costa Pacífica y Caribe de Centroamérica. *Revista de Ciencia y Tecnología*, 24(1).
- Nativi Merchán, S., López Moncada, M., & Martillo Bustamante, C. (2018). Clasificación de la línea costera de la Isla Santa Cruz, Galápagos a partir de imágenes satelitales. Obtenido de

[https://www.oceandocs.org/bitstream/handle/1834/15000/OCE22\\_6.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://www.oceandocs.org/bitstream/handle/1834/15000/OCE22_6.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

- NOTTEBOOM, Theo. An application of multi-criteria analysis to the location of a container hub port in South Africa. *Maritime policy & management*, 2011, vol. 38, no 1, p. 51-79.
- KONECRANES. (2020). *Mobile harbor cranes*. Obtenido de <https://www.konecranes.com/equipment/mobile-harbor-cranes/model-2-mobile-harbor-cranes>
- van Adrichem, S., Guinee, B., Steenman, Y., Verbart, J., & Zijlstra, J. (27 de Diciembre de 2019). Floating photovoltaics for the Galapagos Islands.
- Zapata, F. (Septiembre de 2006). La pesca artesanal vivencial en Galápagos. Obtenido de [https://www.ffla.net/publicaciones/doc\\_download/40-la-pesca-artesanal-vivencial-en-gal%C3%A1pagos.html](https://www.ffla.net/publicaciones/doc_download/40-la-pesca-artesanal-vivencial-en-gal%C3%A1pagos.html)

# APÉNDICE

## APÉNDICE A: Rutinas de Matlab para descarga de datos de WaveWatch III

### %% Descarga de datos desde el apc (hawaii)

```
link='http://apdrc.soest.hawaii.edu:80/dods/public_data/Model_output/WAVEWATC  
H_III/3hourly';  
ncdisp(link),  
lon=ncread(link,'lon'); % leemos lon/lat  
lat=ncread(link,'lat');  
[lonr,latr]=meshgrid(lon,lat); % preparamos lon/lat para  
lonp=reshape(lonr,45216,1); % hacer un plot(x,y)  
latp=reshape(latr,45216,1);
```

### %Identificar las coordenadas del sitio de estudio

```
[~,plon]=min(abs(lon-269.72));  
[~,plat]=min(abs(lat+0.75));  
time=ncread(link,'time'); % leemos la data
```

```
hsg=ncread(link,'htsgwsfc',[217 78 1],[1 1 Inf]);  
hsg=squeeze(hsg);  
ixnan=find(hsg>=10 | hsg<=-10);  
hsg(ixnan)=NaN;
```

```
per=ncread(link,'perpwsfc',[217 78 1],[1 1 Inf]);  
per=squeeze(per);  
ixnan=find(per>=30 | per<=0);  
per(ixnan)=NaN
```

```
dir=ncread(link,'dirpwsfc',[217 78 1],[1 1 Inf]);  
dir=squeeze(dir);  
ixnan=find(dir>=360 | dir<=-360);  
dir(ixnan)=NaN
```

```
data_oleaje_bahia = [time,datevec(time),hsg,per,dir];
```

### %% Estadística de oleaje

```
n = length(hsg);
```

### %% Altura significativa

```
h_o = sortrows(hsg,'descend','MissingPlacement','last');  
h_s = (1/floor(n/3))*sum(h_o(1:floor(n/3)))
```

```

% Altura promedio
h_mean = mean(hsg,'omitnan')

%Altura máxima (extremo)
h_max = max(hsg)

%% Periodo significativo
T_o = sortrows(per,'descend','MissingPlacement','last');
T_s = (1/floor(n/3))*sum(T_o(1:floor(n/3)))

%Periodo pico
T_peak=max(per),

plot(time,per),datetick,
xlabel('años'),
ylabel('periodo [s]'),

plot(time,hsg), datetick,
xlabel('años'),
ylabel('altura sig. [m]'),

H = histogram(hsg,'normalization','probability'),
xlabel('altura sig. [m]'),
ylabel('ocurrencia [%]'),

%Dirección de oleaje
%promedio
dir_prom=mean(dir)
%maximo
dir_max=max(dir)

```

## APÉNDICE B: Matriz de Lickert

### 1.- Preguntas elaboradas para obtener la información para completar la Matriz de Lickert.

#### LOGÍSTICA

- **Área de maniobras:** ¿Cree usted que el sitio A, B o C tiene un área suficiente para que el buque con características del Fusion 2 realice maniobras de atraque?
- **Área de almacenamiento:** ¿Cree usted que el sitio A, B o C tiene un área suficiente para colocar un área de almacenamiento y carga, y un área de reserva para una posible futura expansión?
- **Vías:** ¿Considera usted que el sitio (A, B, C) habría la posibilidad de construir una vía que permita el transporte de la carga?
- **Canal de acceso:** ¿Considera usted que el sitio (A, B, C) permitiría tener una ubicación estratégica cercana al canal de acceso?

#### CONDICIONES FÍSICAS

- **Batimetría:** ¿Considera usted que la batimetría del sitio (A, B, C) sería la adecuada para un muelle que permita el atraque de buques con mayor calado en comparación a los que actualmente atracan en los muelles existentes?
- **Topografía:** ¿Considera usted que la topografía del sitio (A, B, C) sería óptima para la construcción de un muelle y las zonas de almacenamiento y carga que este requiera?
- **Tipo de suelo:** ¿Considera usted que el tipo de suelo del sitio (A, B, C) permitiría un asentamiento seguro del muelle?
- **Viento:** ¿Considera usted que el sitio (A, B o C) está expuesto a fuertes vientos?
- **Oleaje:** ¿Considera usted que el sitio (A, B o C) estaría expuesto a un gran impacto por el oleaje?

#### AMBIENTE

- **Zonas intervenidas:** ¿Considera usted que el sitio (A, B o C) ha sido intervenido?
- **Impacto ambiental:** ¿Considera usted que habría un mayor impacto ambiental (ruido, contaminación del agua, aire, entre otros) si hubiera un muelle ubicado en el sitio (A, B, C)?



2.- Resultados de la Matriz de Lickert conforme a la opinión de los actores entrevistados.

Tabla B-2.1 Resultados de la entrevista por parte un delegado de GAD Santa Cruz-  
ESPOL

| Criterios                  | Subcriterios  | Sitio     | Sitio     | Sitio     |
|----------------------------|---|-----------|-----------|-----------|
|                            |   | A         | B         | C         |
| <b>Logística</b>           | Área de maniobras                                   | 4         | 1         | 4         |
|                            | Área de almacenamiento y carga, y posible expansión | 4         | 1         | 4         |
|                            | Vías  | 4         | 1         | 4         |
|                            | Canal de acceso                                     | 3         | 1         | 2         |
| <b>Condiciones Físicas</b> | Batimetría  | 4         | 1         | 4         |
|                            | Topografía  | 3         | 3         | 3         |
|                            | Tipo de suelo                                       | 3         | 3         | 3         |
|                            | Vientos   | 3         | 4         | 1         |
|                            | Oleaje  | 3         | 4         | 1         |
| <b>Ambiente</b>            | Zonas intervenidas                                  | 1         | 4         | 1         |
|                            | Impacto ambiental                                   | 1         | 4         | 1         |
| <b>TOTAL</b>               |   | <b>33</b> | <b>27</b> | <b>28</b> |

Msc. Isabel Timpe

**Tabla B-2.2 Resultados de la entrevista por parte un consultor**

| <b>Criterios</b>           | <b>Subcriterios</b>                                 | <b>Sitio<br/>A</b> | <b>Sitio<br/>B</b> | <b>Sitio<br/>C</b> |
|----------------------------|---|--------------------|--------------------|--------------------|
| <b>Logística</b>           | Área de maniobras                                   | 3                  | 1                  | 4                  |
|                            | Área de almacenamiento y carga, y posible expansión | 3                  | 1                  | 4                  |
|                            | Vías  | 4                  | 1                  | 4                  |
|                            | Canal de acceso                                     | 3                  | 1                  | 4                  |
| <b>Condiciones Físicas</b> | Batimetría  | 4                  | 1                  | 4                  |
|                            | Topografía  | 4                  | 4                  | 4                  |
|                            | Tipo de suelo                                       | 3                  | 3                  | 3                  |
|                            | Vientos   | 3                  | 4                  | 2                  |
|                            | Oleaje  | 2                  | 4                  | 2                  |
| <b>Ambiente</b>            | Zonas intervenidas                                  | 1                  | 4                  | 1                  |
|                            | Impacto ambiental                                   | 1                  | 4                  | 1                  |
| <b>TOTAL</b>               |   | <b>31</b>          | <b>28</b>          | <b>33</b>          |

Ing. Ernesto Tovar

**Tabla B-2.3 Resultados de la entrevista por parte un delegado del GAD Santa Cruz**

| <b>Criterios</b>           | <b>Subcriterios</b>                                 | <b>Sitio<br/>A</b> | <b>Sitio<br/>B</b> | <b>Sitio<br/>C</b> |
|----------------------------|---|--------------------|--------------------|--------------------|
| <b>Logística</b>           | Área de maniobras                                   | 4                  | 2                  | 3                  |
|                            | Área de almacenamiento y carga, y posible expansión | 4                  | 1                  | 4                  |
|                            | Vías  | 3                  | 1                  | 3                  |
|                            | Canal de acceso                                     | 4                  | 1                  | 4                  |
| <b>Condiciones Físicas</b> | Batimetría  | 4                  | 1                  | 4                  |
|                            | Topografía  | 4                  | 4                  | 3                  |
|                            | Tipo de suelo                                       | 3                  | 3                  | 3                  |
|                            | Vientos   | 2                  | 4                  | 1                  |
|                            | Oleaje  | 2                  | 4                  | 1                  |
| <b>Ambiente</b>            | Zonas intervenidas                                  | 1                  | 4                  | 1                  |
|                            | Impacto ambiental                                   | 1                  | 4                  | 1                  |
| <b>TOTAL</b>               |   | <b>32</b>          | <b>25</b>          | <b>28</b>          |

Ing. Schubert Lombeida

**Tabla B-2.1 Resultados de la entrevista por parte un delegado del MTOP**

| <b>Criterios</b>           | <b>Subcriterios</b>                                 | <b>Sitio<br/>A</b> | <b>Sitio<br/>B</b> | <b>Sitio<br/>C</b> |
|----------------------------|---|--------------------|--------------------|--------------------|
| <b>Logística</b>           | Área de maniobras                                   | 4                  | 2                  | 3                  |
|                            | Área de almacenamiento y carga, y posible expansión | 3                  | 1                  | 4                  |
|                            | Vías  | 3                  | 1                  | 3                  |
|                            | Canal de acceso                                     | 4                  | 1                  | 4                  |
| <b>Condiciones Físicas</b> | Batimetría  | 1                  | 1                  | 4                  |
|                            | Topografía  | 4                  | 4                  | 4                  |
|                            | Tipo de suelo                                       | 3                  | 3                  | 3                  |
|                            | Vientos   | 2                  | 4                  | 1                  |
|                            | Oleaje  | 2                  | 4                  | 1                  |
| <b>Ambiente</b>            | Zonas intervenidas                                  | 1                  | 4                  | 1                  |
|                            | Impacto ambiental                                   | 1                  | 4                  | 1                  |
| <b>TOTAL</b>               |   | <b>28</b>          | <b>25</b>          | <b>29</b>          |

Ing.Clemente Rendón

**Tabla B-2.2 Resultados de la entrevista por parte un experto de ESPOL.**

| <b>Criterios</b>           | <b>Subcriterios</b>                                 | <b>Sitio<br/>A</b> | <b>Sitio<br/>B</b> | <b>Sitio<br/>C</b> |
|----------------------------|---|--------------------|--------------------|--------------------|
| <b>Logística</b>           | Área de maniobras                                   | 3                  | 2                  | 4                  |
|                            | Área de almacenamiento y carga, y posible expansión | 4                  | 1                  | 4                  |
|                            | Vías  | 3                  | 1                  | 4                  |
|                            | Canal de acceso                                     | 4                  | 1                  | 4                  |
| <b>Condiciones Físicas</b> | Batimetría  | 1                  | 1                  | 4                  |
|                            | Topografía  | 4                  | 4                  | 4                  |
|                            | Tipo de suelo                                       | 3                  | 3                  | 3                  |
|                            | Vientos   | 2                  | 4                  | 1                  |
|                            | Oleaje  | 2                  | 4                  | 1                  |
| <b>Ambiente</b>            | Zonas intervenidas                                  | 1                  | 4                  | 1                  |
|                            | Impacto ambiental                                   | 1                  | 4                  | 1                  |
| <b>TOTAL</b>               |   | <b>28</b>          | <b>29</b>          | <b>31</b>          |

Ing. Alejandro Chanabá

## **APÉNDICE C: Visita técnica a Puerto Gal**

### **1.- Introducción**

El Lunes 17 de Agosto del 2020, fecha en la cual ya había más accesibilidad de transitar por la ciudad, con las medidas de bioseguridad, producto de la pandemia del Covid 19, se realizó una visita técnica a Puerto Gal, del mismo que sale toda la carga que se transporta al archipiélago.

Esta visita fue esencial para conocer la distribución del puerto, además de tener una visión clara de qué se podría adoptar en la propuesta del diseño en este proyecto, y qué se podría mejorar.

### **2.- Objetivos**

- Reconocer las instalaciones que un puerto debe tener.
- Conocer el muelle en el cual atraque el buque Fusion 2.
- Percibir el punto de vista de la naviera y de los capitanes del buque sobre la propuesta de implementar un puerto en Bahía Academia.
- Identificar los aspectos que se podrían mejorar para adaptarlos en el diseño.

**3.- Fotografías**



**Imagen C-1 Buque Fusion 2 en el muelle de StoreOcean.**



**Imagen C-2 Revisión de la carta náutica junto al capitán del buque.**



**Imagen C-3 Conversación con delegadas de la ABG.**



**Imagen C-4 Patio de contenedores de PuertoGal.**





**Imagen C-5 Productos almacenados en la bodega.**



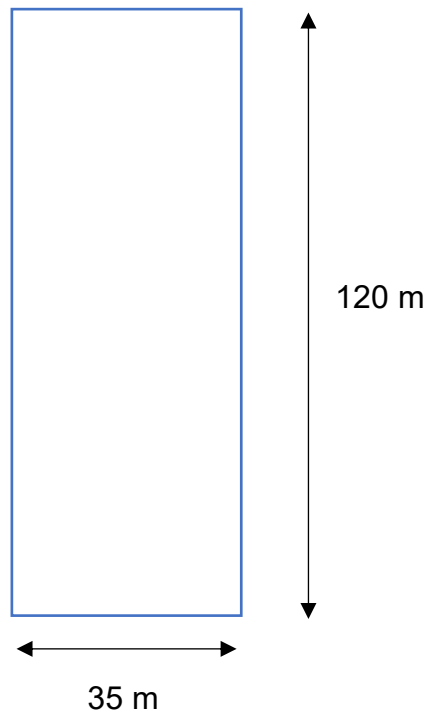
**Imagen C-6 Bodega de almacenamiento.**

## APÉNDICE D: Cálculos para determinar el número de pilotes en las propuestas de muelles

### Consideraciones:

Los pilotes tendrán 4 m de distancia uno del otro

Alternativa A



### Largo de 120 m

25 espacios

$$25 \times 4 \text{ m} = 100 \text{ m}$$

26 pilotes

$$26 \times 0,6 \text{ m} = 15,6 \text{ m}$$

Total = 115,6 m

### Ancho de 35 m

7 espacios

$$7 \times 4 \text{ m} = 28 \text{ m}$$

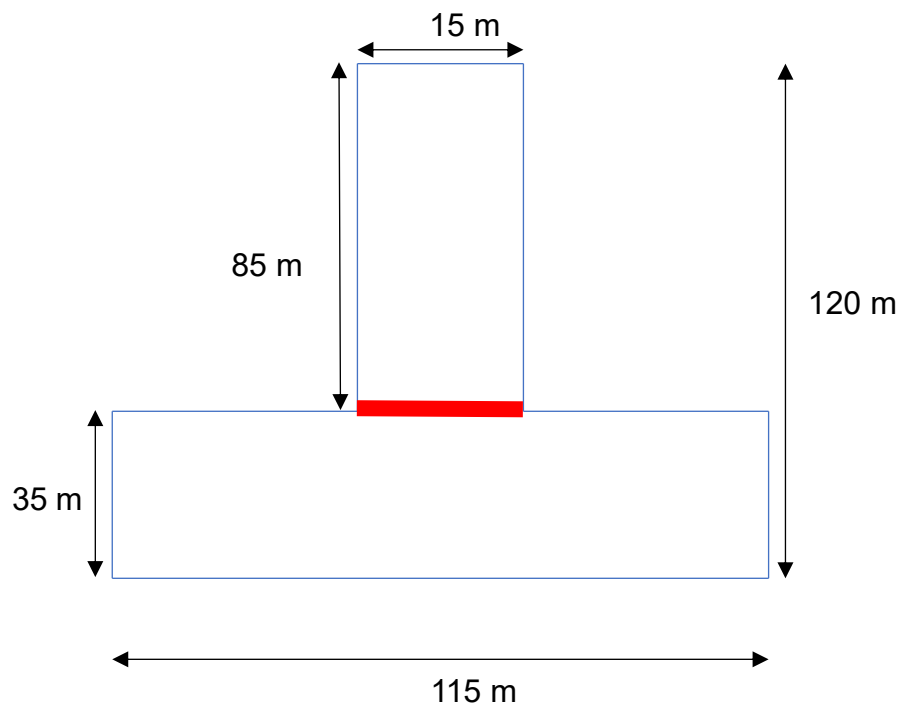
8 pilotes

$$8 \times 0,6 \text{ m} = 4,8 \text{ m}$$

Total = 32,8 m

**8 pilotes distribuidos horizontalmente, y 26 pilotes distribuidos verticalmente**

**Alternativa B**



Se dividió el muelle en dos tramos

**Tramo 1**

**Ancho de 15 m**

3 espacios

$$3 \times 4 \text{ m} = 12 \text{ m}$$

4 pilotes

$$4 \times 0,6 \text{ m} = 2,4 \text{ m}$$

Total = 14,4 m

**Largo de 85 m**

18 espacios

$$18 \times 4 \text{ m} = 72 \text{ m}$$

19 pilotes

$$19 \times 0,6 \text{ m} = 11,4 \text{ m}$$

Total = 83,4 m

**4 pilotes distribuidos horizontalmente, y 19 pilotes distribuidos verticalmente**Tramo 2**Largo de 115 m**

24 espacios

$$24 \times 4 \text{ m} = 96 \text{ m}$$

25 pilotes

$$25 \times 0,6 \text{ m} = 15 \text{ m}$$

Total = 111 m

**Ancho de 35 m**

7 espacios

$$7 \times 4 \text{ m} = 28 \text{ m}$$

8 pilotes

$$8 \times 0,6 \text{ m} = 4,8 \text{ m}$$

Total = 32,8 m

**8 pilotes distribuidos horizontalmente, y 25 pilotes distribuidos verticalmente**

## APÉNDICE E: Representación del diseño conceptual del puerto

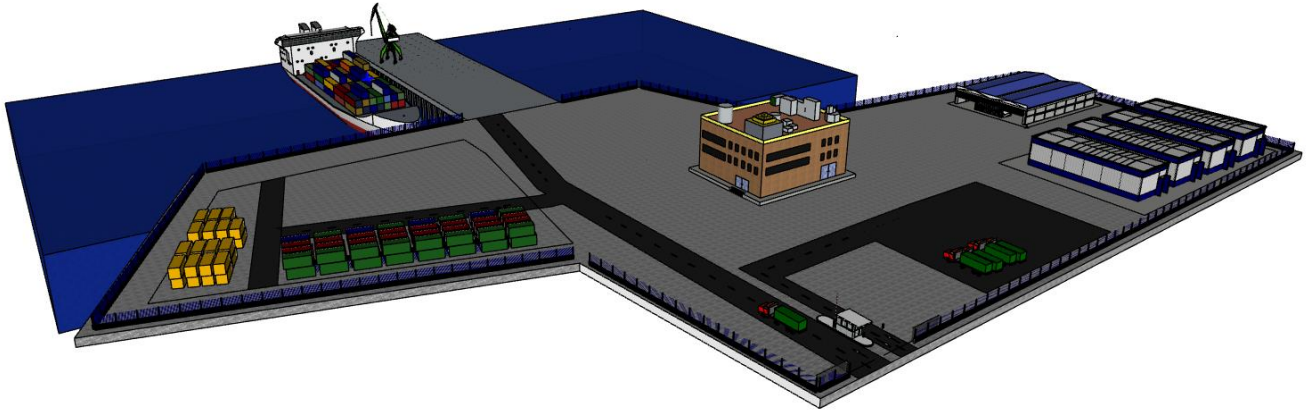
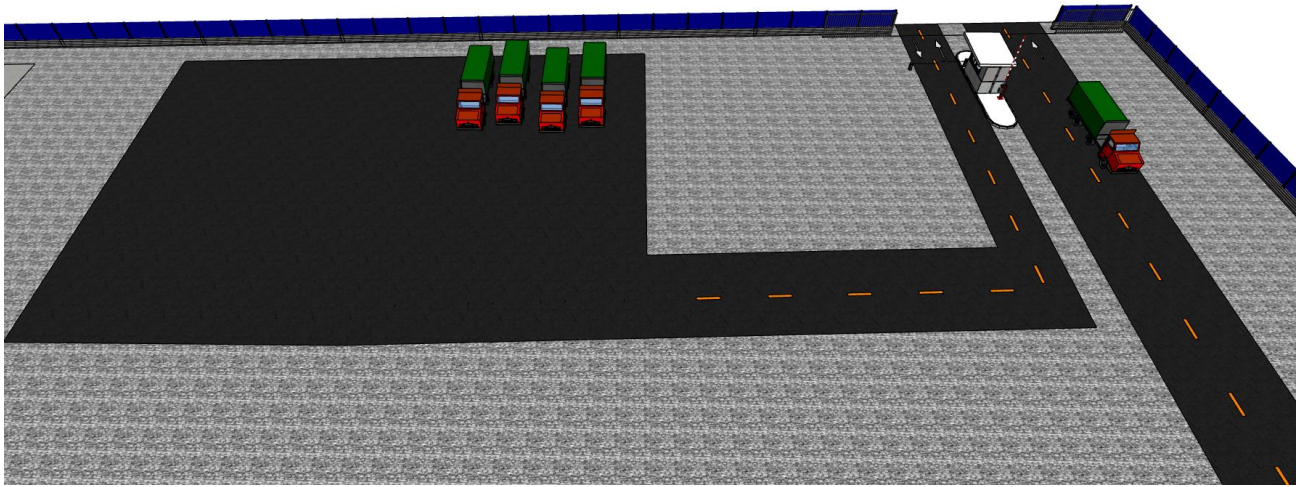


Imagen E-1 Facilidat portuaria

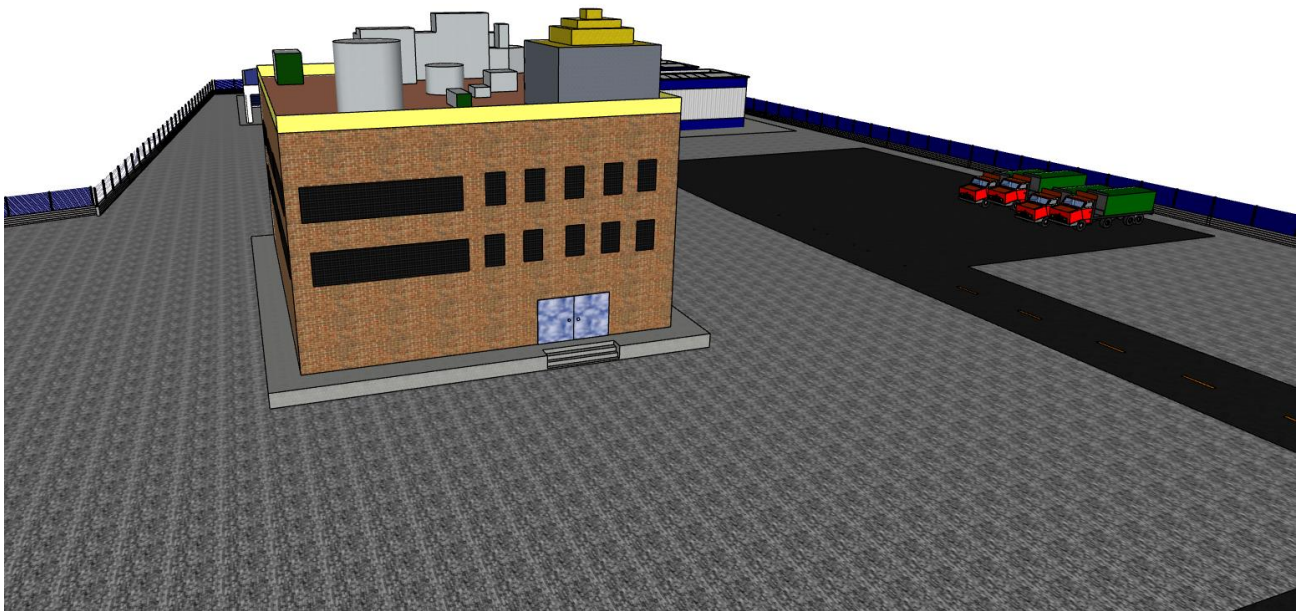


Imagen E-2 Bodegas y oficinas

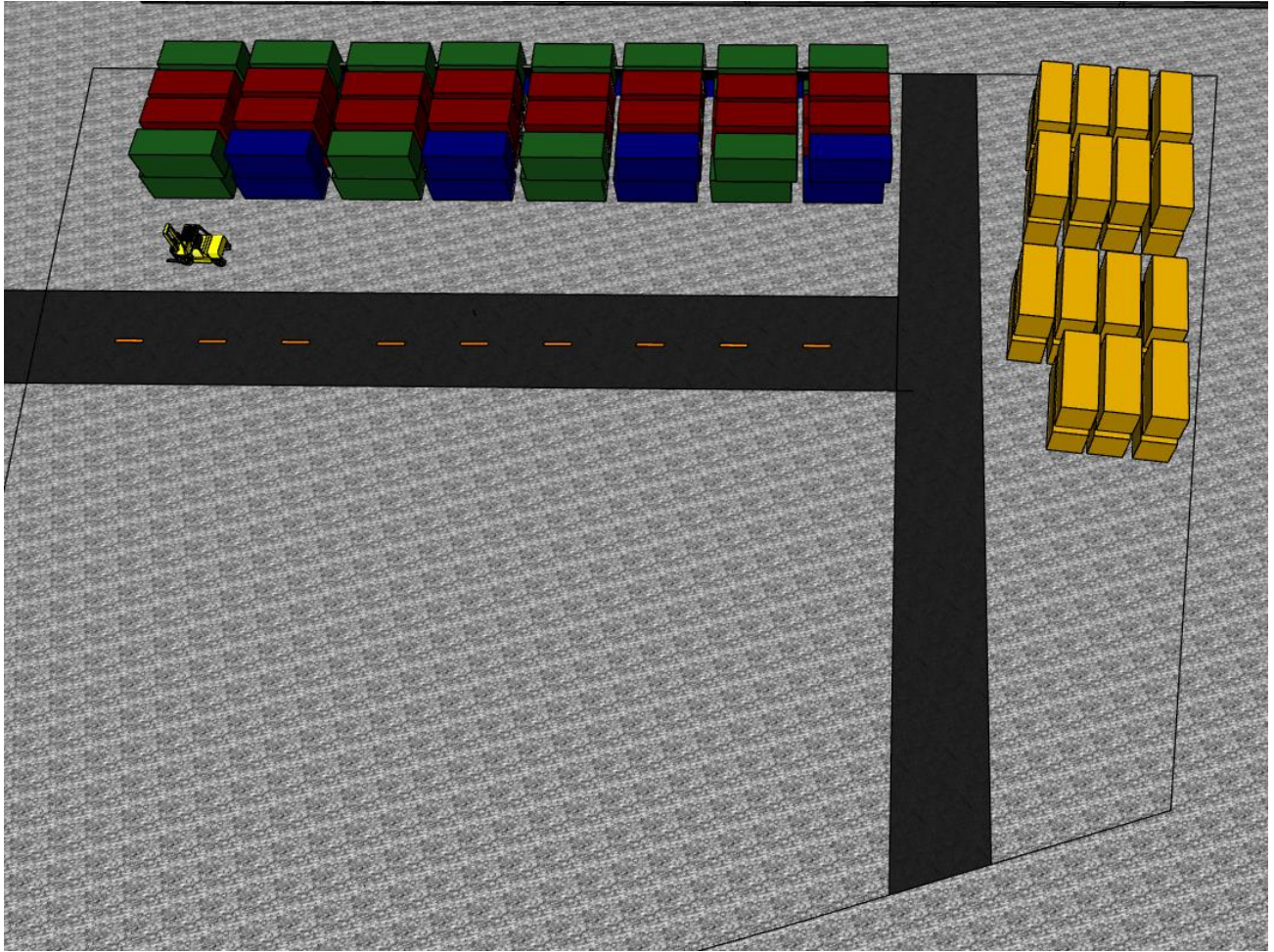




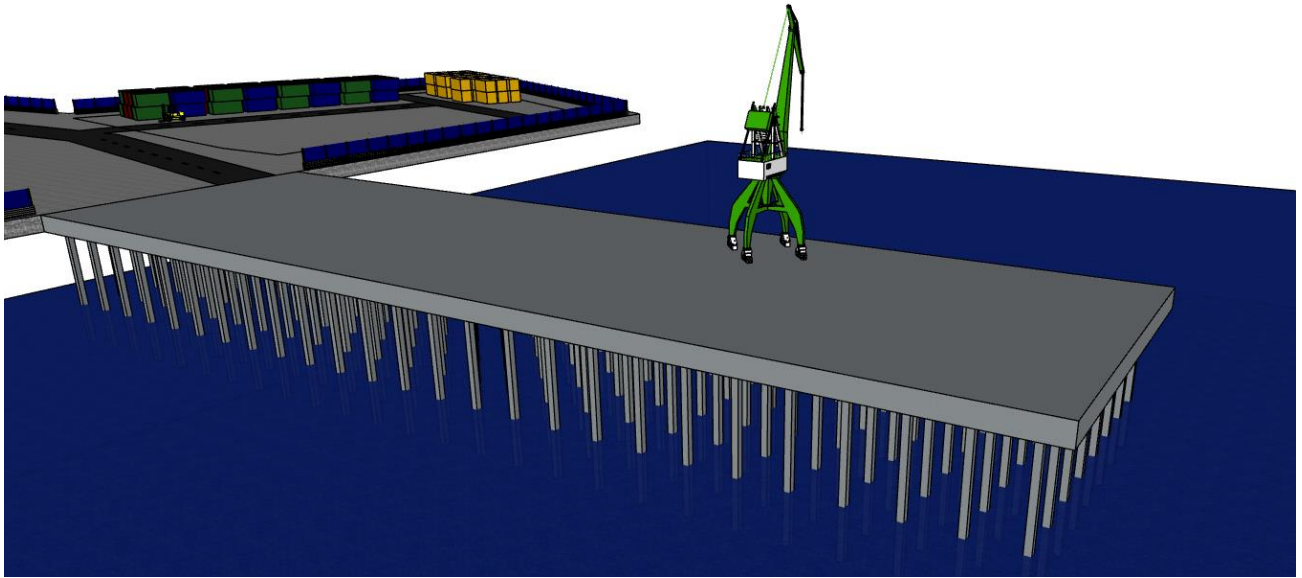
**Imagen E-3 Zona de parqueo de camiones y garita de ingreso al puerto.**



**Imagen E-4 Zona para controles varios del puerto.**



**Imagen E-5 Patio de almacenamiento.**



**Imagen E-6 Muelle de atraque.**



## APÉNDICE F: Plano de la facilidad portuaria

