

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

Facultad de Ingeniería Marítima y Ciencias del Mar

Título del trabajo

**ANÁLISIS Y DIAGNÓSTICO DEL ESTADO ESTRUCTURAL DEL
MUELLE DE LA CASA DE PRÁCTICOS DE LA AUTORIDAD
PORTUARIA DE GUAYAQUIL MEDIANTE EL USO DE UN MODELO
COMPUTACIONAL**

Previo la obtención del Título de:

Ingenieros Oceanográficos

Presentado por:

Luigi Styven Purizaga Peñafiel

Gabriela Doménica Torres Fernández

GUAYAQUIL - ECUADOR

Año: 2020

DEDICATORIA

El presente proyecto se lo dedico especialmente a mi abuelita Inés, quien me acogió en su casa durante toda mi carrera universitaria. Este es un recordatorio de que sí alcanzó y seguirá alcanzando a ver más logros de nosotros, sus nietos.

Luigi Purizaga

Este proyecto se lo dedico a la mujer más fuerte que tuve en mi vida, mi abuelita Gladys, y a la mujer con mayor templanza y paciencia que he conocido, mi madre Deydamia. Porque me enseñaron que el estudio es la mejor ruta para ser libre, que las mujeres somos tan fuertes y sabias como cualquier otro ser humano, y ante todo que “sobre lo que no se tiene control, uno no debe amargarse”. Para ambas, como recordatorio que nosotras tenemos las riendas de nuestras vidas ante el “no puedes y no debes” “del ‘qué dirán’ de la sociedad.

Gabriela Torres

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a mis padres, por siempre apoyarme en todo lo que me proponga, y por inculcarme valores y principios. A mi compañera de proyecto, Gabriela; a mis profesores de la carrera de Oceanografía, especialmente al MSc. Jonathan Cedeño y la MSc. Gina Andrade por su importante apoyo durante la realización de este proyecto.

Finalmente, agradezco a todos nuestros amigos que nos han apoyado y nos han acompañado durante todo este tiempo

Luigi Purizaga

Agradezco a mi familia, a mi compañero de proyecto integrador, Luigito, y a mis amigos. Gracias por siempre tenerme paciencia, compartir alegrías conmigo y brindarme su apoyo incondicional a lo largo de esta etapa. Y a aquellos profesores que siempre nos dieron su apoyo genuino, gracias por inspirarme a querer conocer el mundo más allá de la doctrina, y a luchar contra la corrupción del sistema.

Gabriela Torres

DECLARACIÓN EXPRESA

“Los derechos de titularidad y explotación, nos corresponde conforme al reglamento de propiedad intelectual de la institución; *Luigi Styven Purizaga Peñafiel* y *Gabriela Doménica Torres Fernández* damos nuestro 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”

Luigi Styven Purizaga
Peñafiel

Gabriela Doménica
Torres Fernández

EVALUADORES

MSc. Luis Miguel Altamirano Pérez

PROFESOR DE LA MATERIA

MSc. Álex Villacrés Sánchez

PROFESOR TUTOR

RESUMEN

El presente proyecto desarrolla el análisis y diagnóstico del estado estructural del muelle de la casa de prácticos de la Autoridad Portuaria de Guayaquil (APG), mediante el uso de un modelo computacional. Este trabajo consiste en un documento referencial, para la APG, como solución ante la escasa información relacionada con las condiciones estructurales del muelle y la caracterización de su medio físico. Las inspecciones visuales muestran el deterioro de la estructura, llevando a la necesidad de soluciones ingenieriles pertinentes para una mejora en su operatividad, en lugar de las reparaciones emergentes reportadas a lo largo de los años. Se realizó una compilación de información de estudios previos realizados por instituciones especializadas, validados con data de modelos y satelital, para determinar las cargas aplicadas, en conjunto a planos estructurales originales del muelle de hormigón. Luego, se evaluó el comportamiento de la estructura usando un modelo de análisis espectral en SAP2000, en base a la Norma Ecuatoriana de Construcción (NEC) del 2015. Los resultados mostraron resistencia a las fuerzas internas, y la necesidad de un rediseño de las vigas en voladizo, para cumplir con el espaciamiento requerido en caso de un evento sísmico, evitando colisiones. A partir del análisis de los reportes de reparación, se propuso el reemplazo de las líneas de amarre para el anclaje del muelle flotante. El modelo puede ser actualizado con estudios en campo futuros, para un análisis menos conservador. Además, las soluciones proyectan una vida de útil prolongada, y costos reducidos a largo plazo.

Palabras Clave: Muelle, practicaje, modelo computacional, análisis espectral, oceanografía

ABSTRACT

This project develops the analysis of the structural condition assessment of the pilot pier of Guayaquil's Port Authority (APG) located in Data Villamil, using computational modelling. The purpose of this paper is to provide APG with a reference document to solve the insufficient information issue regarding this existing structure, and its environment's characterization. Visual inspections have shown the pier's decay, leading to a need for engineering solutions for its safety and improvement on its serviceability, instead of just emergency repairs as it has been reported so far. The methodology includes information compilation from previous studies performed by specialized institutions, some validated with satellite data and data from models, to determine the loads applied, within original blueprints of the reinforced concrete pier section. Also, a spectral analysis and finite element model in SAP2000 were used to estimate the behavior and conditions of the structure, within entry data based on the Ecuadorian Construction Norm (NEC) from 2015. The results suggest reparations in the cantilevers to leave a gap required to prevent collision in case of a seismic event. On the other side, based on an analysis of the repair reports given by APG, it has been proposed the replacement on the floating dock's anchoring lines. The model structure established can be valuable in further studies, when updated with in situ data once it is available, to give out fewer conservative results such as in a non-linear dynamic analysis. Furthermore, the solutions project the pier's longer life span and long-term cost reduction.

Keywords: Pier, piloting, computational model, spectral Analysis, oceanography

ÍNDICE GENERAL

EVALUADORES	4
RESUMEN	I
<i>ABSTRACT</i>	II
ABREVIATURAS	VI
ÍNDICE DE FIGURAS	VII
ÍNDICE DE TABLAS	XI
CAPÍTULO 1	1
1. Introducción	1
1.1 Descripción del problema	2
1.2 Justificación del problema	3
1.3 Objetivos	4
1.3.1 Objetivo general.....	4
1.3.2 Objetivos específicos	4
1.4 Zona de estudio	5
1.5 Marco teórico	6
1.5.1 Términos portuarios	6
1.5.2 Casa de prácticos	11
1.5.3 Modelo computacional	14
CAPÍTULO 2	17

2.	Caracterización del medio físico.....	17
2.1	Condiciones ambientales	17
2.1.1	Meteorología.....	17
2.1.2	Oceanografía.....	20
2.1.3	Geomorfología.....	27
CAPÍTULO 3.....		34
3.	Metodología	34
3.1	Informes de inspección y reparaciones	34
3.1.1	Inspección visual en campo del muelle de prácticos.....	36
3.2	Información técnica de elementos estructurales.....	38
3.3	Análisis estructural del muelle	40
3.3.1	Cargas actuantes.....	40
3.3.2	Combinaciones de cargas	44
3.4	Modelamiento computacional.....	45
3.4.1	Variables de entrada.....	45
3.4.2	Procedimiento de modelamiento computacional en SAP2000	47
CAPÍTULO 4.....		57
4.	Evaluación estructural del muelle y propuesta de soluciones.....	57
4.1	Análisis de resultados del modelo	57
4.1.1	Derivas	57
4.1.2	Fuerzas Internas.....	62

4.2	Propuesta de soluciones	72
4.2.2	Elección de solución a diseñar.....	75
CAPÍTULO 5.....		76
5.	Diseño de la solución	76
5.1	Muelle Fijo.....	76
5.1.1	Rediseño de voladizos.....	76
5.1.2	Cubrejuntas	77
5.1.3	Método constructivo.....	78
5.2	Muelle flotante: solución sugerida	80
5.3	Análisis de Precios Unitarios	81
CAPÍTULO 6.....		83
6.	Conclusiones y recomendaciones.....	83
6.1	Conclusiones.....	83
6.2	Recomendaciones.....	84
BIBLIOGRAFÍA.....		85
APÉNDICES		90
APÉNDICE A.....		91
APÉNDICE B.....		93
APÉNDICE C.....		109
APÉNDICE D.....		112

ABREVIATURAS

ESPOL Escuela Superior Politécnica del Litoral

APG Autoridad Portuaria de Guayaquil

FEM Método de Elementos Finitos

INOCAR Instituto Oceanográfico y Antártico de la Arman

MLWS Promedio de bajamares de sicigia

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 Mapa de instalaciones de la Casa de Prácticos (Autores, 2020)	5
Figura 1.2 Clasificación de muelles en función de la tipología estructural de sus partes (Autores, 2020)	7
Figura 1.3 Obras de gravedad a) Muelle de bloques y b) Muelle de cajones (Llorca, José; González, José; Ametller, Sergi, 2012)	8
Figura 1.4 Obra de atraque de pilotes (Llorca, José; González, José; Ametller, Sergi, 2012).....	8
Figura 1.5 Esquema conceptual del tipo de cargas. (Norma Ecuatoriana de la Construcción, 2014)	10
Figura 1.6. Diagrama de clasificación de los tipos de modelos computacionales. (Autores, 2020).....	15
Figura 2.1 Vientos Predominantes Anuales a 10 metros de la superficie. Fuente: FNMOC-ERDAPP, NOAA, 1° de resolución. (Autores, 2020).....	18
Figura 2.2 Atlas Pluviométrico del Ecuador. Documento técnico de la UNESCO 2010. (Geoestudios-Consulsua, 2012)	19
Figura 2.3. Promedios Meteorológicos de 1948-2008, y en * del 1948-2003 de parámetros en la estación de Guayaquil - INOCAR. (Geoestudios-Consulsua, 2012)..	19
Figura 2.4 Promedios estacionales de precipitaciones, acumulado semestral en mm. Data de IRIS TRMM_L3, diarios. (Autores, 2020)	20
Figura 2.5 Altura significativa de oleaje transformado a la costa. Fuente: WAVEWATCH III.....	21
Figura 2.6 Histograma de frecuencias de periodos de olas (Autores, 2020)	22
Figura 2.7 Comparación de datos de oleaje entre datos obtenidos de WAVEWATCH III, datos obtenidos de WAVEWATCH III refractados y datos in situ proporcionados por INOCAR para un mismo periodo de tiempo (21 de enero 2007 - 18 de febrero 2007) (Autores, 2020)	22
Figura 2.8 Ubicación de fuentes de datos de oleaje (Autores, 2020).....	23
Figura 2.9 Mareas anuales en la estación de Data (INOCAR, 2020).....	26
Figura 2.10 Mareas mensuales en la estación de Data (INOCAR, 2020)	26
Figura 2.11 Modelo geofísico para la estratigrafía. (GeoEstudios, 2014)	28

Figura 2.12 N30 del ensayo de penetración estándar por Redes S.A. (Villacrés, Lastra, & Castillo, 2018)	28
Figura 2.13 Resultados de la clasificación de suelos SUCS. (Villacrés, Lastra, & Castillo, 2018).....	29
Figura 2.14 Ángulo de fricción interna, resultado de ensayo de corte directo. (Villacrés, Lastra, & Castillo, 2018)	29
Figura 2.15 Curvas granulométricas del sondeo realizado por Redes S.A en el 2018. (Autores, 2020)	30
Figura 2.16 Perfil del suelo para diseño sismo resistente. (Villacrés, Lastra, & Castillo, 2018).....	31
Figura 2.17 Mapa de clasificación de Riesgo Sísmico, factor Z. (Norma Ecuatoriana de Construcción, 2015)	32
<i>Figura 2.18 Curva de Peligro Sísmico para Guayaquil, selección del PGA.</i> (Norma Ecuatoriana de Construcción, 2015)	33
Figura 3.1 <i>Daños reportados por componentes del muelle desde el 19 de junio del 2014 hasta el 13 de febrero del 2017. Datos obtenidos de</i> (Alvarez B., 2017)	35
Figura 3.2 Separación entre tramos del muelle de prácticos en sitio. (Autores, 2020)..	36
<i>Figura 3.4 Valores del Coeficiente de importancia según el uso y categoría de la estructura.</i> (Norma Ecuatoriana de Construcción, 2015)	43
<i>Figura 3.5 Valores del coeficiente de reducción para el espectro de respuesta, según el tipo de estructura.</i> (Norma Ecuatoriana de Construcción, 2015)	43
Figura 3.6 Ordenadas de las grillas del espacio de trabajo para el diagnóstico. (Autores, 2020).....	47
Figura 3.7 Materiales para las secciones estructurales en SAP 2000. (Autores, 2020)	48
Figura 3.8 Propiedades de las columnas o pilotes del muelle en SAP2000. (Autores, 2020).....	49
Figura 3.9 Patrones de carga del modelo en SAP 2000. (Autores, 2020).....	50
Figura 3.10 Función del Espectro de Respuesta para el modelo en SAP 2000. (Autores, 2020).....	50
Figura 3.11 Parámetros de la función del Espectro de Respuesta “Muelle Rs”. (Autores, 2020).....	51
Figura 3.12 Caso de Carga Modal para el análisis estático del modelo. (Autores, 2020)	52

Figura 3.13 Parámetros del caso de Carga del espectro de respuesta “Dinámico”. (Autores, 2020).	52
Figura 3.14 Casos de carga considerados en el modelo en SAP 2000. (Autores, 2020).	53
Figura 3.15 Combinaciones de carga respect a la NEC, del modelo en SAP 2000. (Autores, 2020)	53
Figura 3.16 Combinaciones de carga del modelo en SAP 2000. (Autores, 2020).	54
Figura 3.17 Corrida de los casos de carga en el modelo SAP 2000. (Autores, 2020)...	55
<i>Figura 3.18 Presentación de los resultados de fuerzas internas por combinaciones de caso. Espectro de respuesta de interés en caso Dinámico. SAP2000. (Autores, 2020)</i>	55
<i>Figura 3.19 Deformada del tramo 1, modelo estructural en SAP2000, espectro de respuesta. (Autores, 2020)</i>	56
Figura 4.1 Deformada tramo 1, desplazamiento elástico máximo para el espectro de respuesta. Combinación de carga 1. SAP2000 (Autores, 2020).....	60
Figura 4.2 Deformada tramo 1, desplazamiento elástico máximo para el espectro de respuesta. Combinación de carga 2. SAP2000 (Autores, 2020).....	60
Figura 4.3 Deformada tramo 3, desplazamiento elástico máximo para el espectro de respuesta. Combinación de carga 1. SAP2000 (Autores, 2020).....	61
Figura 4.4 Deformada tramo 3, desplazamiento elástico máximo para el espectro de respuesta. Combinación de carga 2. SAP2000 (Autores, 2020).....	61
Figura 4.5 Momentos y cortantes máximos en la primera combinación de carga. SAP 2000. La línea punteada amarilla indica el objeto de las características. (Autores, 2020)	64
Figura 4.6 Momentos y cortantes máximos en el segundo tramo. SAP2000. En rojo la zona de la viga transversal C donde se presentan estas fuerzas internas del tramo 2 (Autores, 2020)	65
Figura 4.7 Momentos y cortantes máximos en el tercer tramo. SAP2000. En rojo la zona de la viga transversal C donde se presentan estas fuerzas internas del tramo 2 (Autores, 2020).....	66
Figura 4.8 Momentos y cortantes máximos en el tramo 1 para pilotes, en SAP2000. (Autores, 2020)	68
Figura 4.9 Diagrama de interacción para columnas del tramo 1. (Autores, 2020)	69

Figura 4.10 Momento y cortante máximos en el tramo 2 para pilotes, en SAP2000. (Autores, 2020)	69
Figura 4.11 Diagrama de interacción para columnas del tramo 2. (Autores, 2020).....	70
Figura 4.12 Captura del modelo en donde se muestran las fuerzas internas de un pilote del tramo 2	71
Figura 4.13 Diagrama de interacción para columnas del tramo 3. (Autores, 2020).....	71
Figura 5.1 Distribución de los cuartones y duelas en muelle de pasarela, a) a la izquierda en base a planos originales (Alvarez B., 2017) b) a la derecha solución propuesta (Autores, 2020)	76
<i>Figura 5.2</i> Ejemplo de cubrejuntas de aluminio anodizado. En la parte superior se observa los elementos que se componen. En la parte inferior las dimensiones a considerar. (Toffolo)	77
<i>Figura 5.3</i> Cubrejuntas y rediseño de vigas entre el tramo 2 y 3, en Revit. (Autores, 2020)	78
Figura 5.4 Muelle anclado a pesos de hormigón con material de Hazelett. A) arriba anclaje triple b) abajo anclaje simple. (Hazlett Marine, 2020)	81

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1 Coordenadas del muelle de la Casa de Prácticos.....	6
Tabla 1.2 Servicios portuarios que brinda la APG (Autoridad Portuaria de Guayaquil, 2019).....	12
Tabla 1.3 Métodos de análisis en modelos computacionales según sus atributos (Abell, 2014).....	16
Tabla 2.1 Velocidad y dirección de las corrientes. Enero del 2007.	23
Tabla 3.1 Información técnica de los cuartos.....	39
Tabla 3.2 Valores de cargas muertas consideradas para el diseño (Autores, 2020)	40
Tabla 3.3 Datos técnicos de las lanchas de practicaje	41
Tabla 3.4 Propiedades de los elementos estructurales (Autores, 2020)	45
Tabla 3.5 Resumen de cargas actuantes en el modelo computacional sobre la estructura. (Autores, 2020)	46
Tabla 3.6 Parámetros del espectro de respuesta (Autores, 2020)	46
Tabla 4.1 Límites permisibles de derivas (Norma Ecuatoriana de Construcción, 2015)	57
Tabla 4.2 Derivas y desplazamientos en los extremos de cada tramo, para la combinación 1 de cargas. (Autores, 2020)	58
Tabla 4.3 Derivas y desplazamientos en los extremos de cada tramo para la combinación 2 de cargas. (Autores, 2020)	59
Tabla 4.4 Resultados de momentos y cortantes, de demanda y capacidad de diseño, para secciones de vigas. (Autores, 2020).....	63
Tabla 4.5 Separación máxima de estribos - Capacidad cortante. (Autores, 2020).....	70
Tabla 5.1 Análisis de precios unitarios de las soluciones propuestas	82
Tabla 0.1 Momento y cortante de los pilotes. Resultados del modelo en SAP2000. Tramo 1. (Autores, 2020)	91
Tabla 0.2 Momento y cortante de los pilotes. Resultados del modelo en SAP2000. Tramo 2. (Autores, 2020)	91
Tabla 0.3 Momento y cortante de los pilotes. Resultados del modelo en SAP2000. Tramo 3. (Autores, 2020)	92

CAPÍTULO 1

1. INTRODUCCIÓN

En la actualidad, la ciudad de Guayaquil es uno de los centros productivos más importantes del país, representando el más del 20% del Producto Interno Bruto nacional (Ministerio de Economía y Finanzas, 2018). El comercio y transporte marítimo ocupan un lugar significativo en este aporte del PIB por parte de la ciudad. De ahí Guayaquil sea considerada el Puerto Principal del Ecuador.

La Autoridad Portuaria de Guayaquil (APG) es la institución pública que dirige y controla los servicios portuarios del Puerto Principal. En lo que respecta al movimiento total de carga de Tráfico Internacional, la APG representa un 17% de aportación, ocupando un segundo lugar después de la Superintendencia del Terminal Petrolero de Balao (SUINBA). Sin embargo, ocupa el primer lugar en lo que respecta a autoridades portuarias (puertos comerciales).

Debido al gran tráfico marítimo que recibe el Puerto Simón Bolívar de Guayaquil, y el largo y complicado canal de acceso que posee para ingresar a sus terminales portuarias, la APG hace uso del servicio de practicaaje para tomar el control de las embarcaciones una vez estas ingresen por la boya de mar.

Los prácticos realizan sus operaciones de embarque y desembarque desde el muelle de la casa de prácticos ubicado en Data de Posorja. Este muelle fue construido hace más de 40 años, y en la actualidad presenta severos deterioros en su infraestructura, dificultando la operatividad del servicio de practicaaje.

El ya avanzado tiempo de vida útil del muelle, la constante exposición a la dinámica zona costera, y la sismicidad característica de nuestra ubicación geográfica son las principales causas del deterioro actual del muelle.

El presente proyecto integrador tiene como propósito analizar las condiciones estructurales en las que se encuentra el muelle, considerando las variables del medio físico en el que se localiza.

En primera instancia se realiza un estudio bibliográfico de los parámetros meteorológicos, oceanográficos y geográficos del área de estudio. Además, se consideran planos e informes de mantenimiento que se han realizado en el muelle.

A partir de toda información recolectada se emplea un modelo computacional para generar un diagnóstico del comportamiento y capacidad estructural del muelle, proyectando la información previa a condiciones actuales. Con el diagnóstico producto del modelamiento, se proponen soluciones ingenieriles para recuperar el óptimo funcionamiento de la plataforma de embarque y desembarque de los prácticos, además de desarrollar un documento referencial para estudios futuros y propuestas pertinentes para la mejora del estado de la estructura.

1.1 Descripción del problema

La problemática consiste en la falta de información acerca del comportamiento estructural del muelle debido a su deterioro y las condiciones oceanográficas a las que se enfrenta. Las condiciones precarias actuales presentadas se deben principalmente a la falta de mantenimiento, acciones del entorno físico y tiempo de vida útil llegando a su fin.

Para proponer soluciones ingenieriles ante esta problemática, se requiere realizar un modelamiento computacional para analizar estructuralmente el muelle y las cargas que actúan sobre él, ya que no se cuenta con registros previos de la capacidad y eficiencia del muelle de soportar sus cargas actuales.

Para ello, es importante caracterizar el medio físico en el que se encuentra el muelle, y determinar la influencia de los parámetros ambientales (precipitación, humedad, oleaje, corrientes, entre otros) en el deterioro de la estructura. Las variables oceanográficas y meteorológicas determinan las cargas que soporta el muelle por su entorno físico.

Las cargas que soporta el muelle, tanto vivas, muertas como sísmicas se consideran según la Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC).

Como restricciones contamos con la imposibilidad de tomar datos actuales in situ debido a la emergencia sanitaria que atraviesa el país por el COVID-19. Esta situación, además

de los recursos financieros limitados, impide el desarrollo ensayos de laboratorio con el fin de estimar la resistencia de los componentes del muelle. Por lo tanto, la información que se tiene como base del proyecto no es tan reciente como se esperaría para obtener resultados más precisos. Finalmente, el proyecto contempla un rediseño estructural a partir de los resultados del modelo en SAP2000, mas no contempla estudios de impacto ni planes de manejo ambiental.

1.2 Justificación del problema

La Autoridad Portuaria de Guayaquil se encuentra en la necesidad de un análisis y evaluación del comportamiento del muelle, para ser utilizado como documento referencial en donde se reflejen las condiciones físicas, estructurales y ambientales a las que se somete el muelle.

A lo largo de los años se han realizado inspecciones y reparaciones emergentes del muelle, sin embargo, estas acciones solo han mitigado el deterioro a corto plazo. Si el mal estado del muelle persiste, el servicio de practica se vería afectado en sus actividades, lo cual a su vez afecta la logística, costos operativos, integridad física de los prácticos, entre otras consecuencias.

El uso de un modelo computacional basado en el método de elementos finitos (FEM) para el análisis estructural es fundamental en este proyecto puesto que facilita el análisis de los diferentes escenarios con combinaciones de cargas, especialmente las cargas sísmicas. Estas se consideran las cargas de mayor relevancia en este estudio, debido a la localización del muelle en una zona de muy alto peligro sísmico.

Es importante contar con este tipo de estudios para que puedan ser empleados como documento base para una posterior toma de decisiones acerca del muelle en el futuro.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo general

Desarrollar una evaluación de estado estructural del muelle de la casa de prácticos de la Autoridad Portuaria de Guayaquil mediante el uso de un modelo computacional para proponer soluciones ingenieriles que recuperen su operatividad ante el constante deterioro.

1.3.2 Objetivos específicos

- Recopilar información de fuentes bibliográficas y bases de datos públicas del área de estudio
- Caracterizar el entorno físico en el que se encuentra el muelle a partir de información bibliográfica y datos satelitales.
- Definir el tipo de suelo sobre el que se asienta el muelle, nivel de estudio de edificación y nivel de riesgo sísmico.
- Modelar la capacidad estructural del muelle ante distintos escenarios de combinaciones de cargas.
- Proponer alternativas de solución ante el deterioro del muelle en base al análisis de los resultados del modelo.
- Diseñar de manera conceptual la solución más conveniente según los criterios del cliente.

1.4 Zona de estudio

La Casa de Prácticos de la Autoridad Portuaria de Guayaquil se encuentra ubicada en la localidad Data de Posorja, el cual es un recinto rural perteneciente a la parroquia Posorja, Cantón Guayaquil, Provincia del Guayas. Limita tanto al este como al oeste con terrenos de propiedad privada, al norte con la vía Playas – Posorja y al sur con el Océano Pacífico.

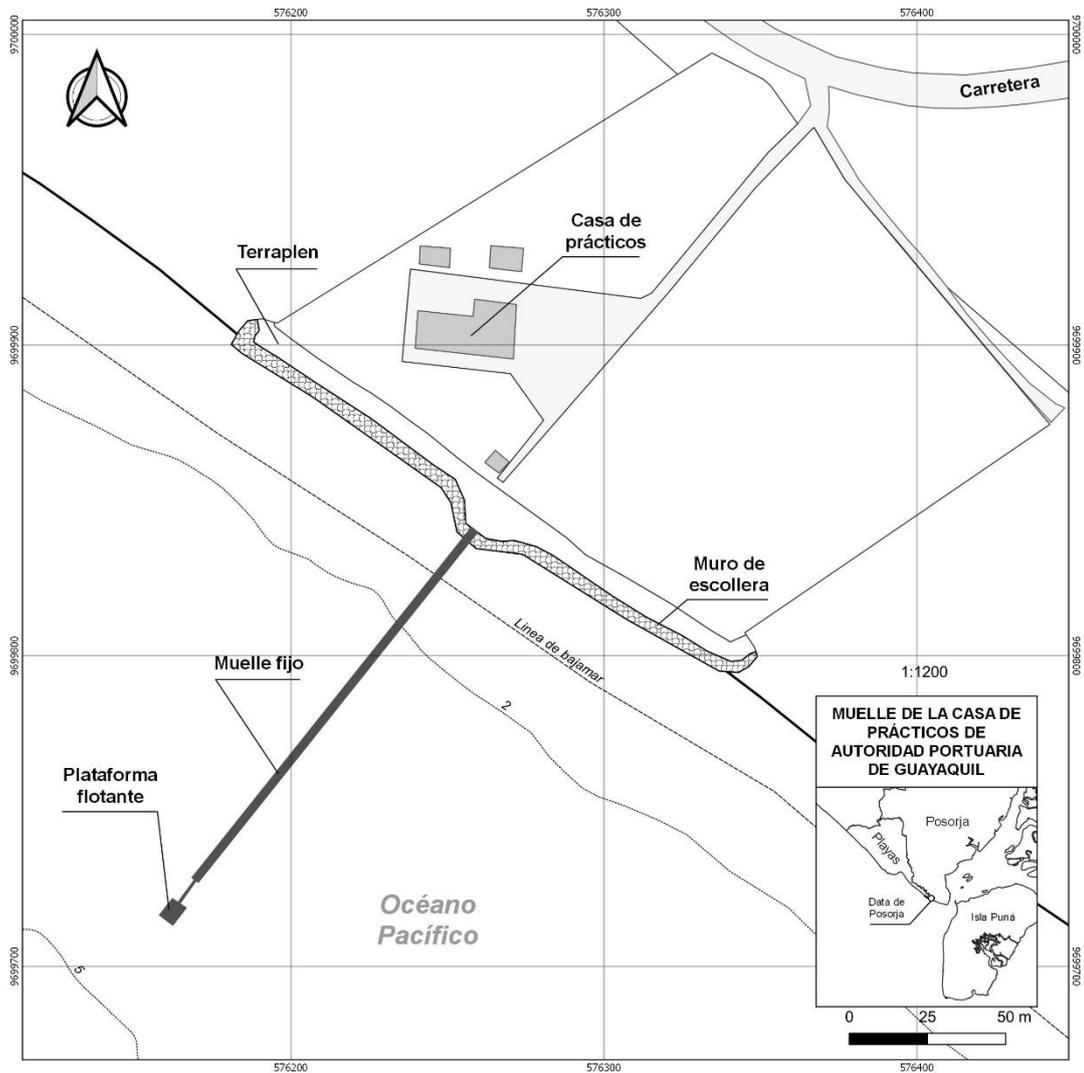


Figura 1.1 Mapa de instalaciones de la Casa de Prácticos (Autores, 2020)

Las instalaciones de la Casa de Prácticos cuentan con un muelle de pasarela perpendicular a la costa, el cual está conformado por un muelle fijo de hormigón armado y un muelle flotante de base metálica. La extensión total del muelle es de 180 m de longitud y posee un área aproximada de 524.82 m² (Alvarez B., 2017).

El muelle se encuentra centrados en las coordenadas presentadas en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia..**

Tabla 1.1 Coordenadas del muelle de la Casa de Prácticos

Localización	Coordenadas geográficas UTM	
	Este	Norte
Muelle de Casa de Prácticos	576215.3	9699784.1

1.5 Marco teórico

1.5.1 Términos portuarios

1.5.1.1 Definición y tipos de muelles

Un muelle se define como una estructura de atraque y amarre fija que conforma una línea de atraque continua, y se conecta con tierra de manera parcial o total mediante rellenos en la parte posterior de las mismas (Llorca, José; González, José; Ametller, Sergi, 2012), proporcionando una superficie horizontal para las operaciones de carga y descarga (Dirección de Obras Portuarias).

Según (Dirección de Obras Portuarias), los muelles se pueden clasificar de acuerdo a su orientación y de acuerdo a su impacto en la dinámica costera.

Con respecto a su orientación los muelles se pueden clasificar en:

- Muelle en espigón

También puede ser llamado muelle de penetración, su orientación es perpendicular a la costa o con algún ángulo de inclinación con respecto a la línea de costa

- Muelle marginal

Los muelles marginales son estructuras de atraque orientadas de manera paralela a la costa.

Con respecto a la función de la tipología estructural de sus partes:

De acuerdo con (Llorca, José; González, José; Ametller, Sergi, 2012), los tipos de muelles se pueden clasificar según la función de la tipología estructural de sus elementos como se indica en a Figura 1.2.

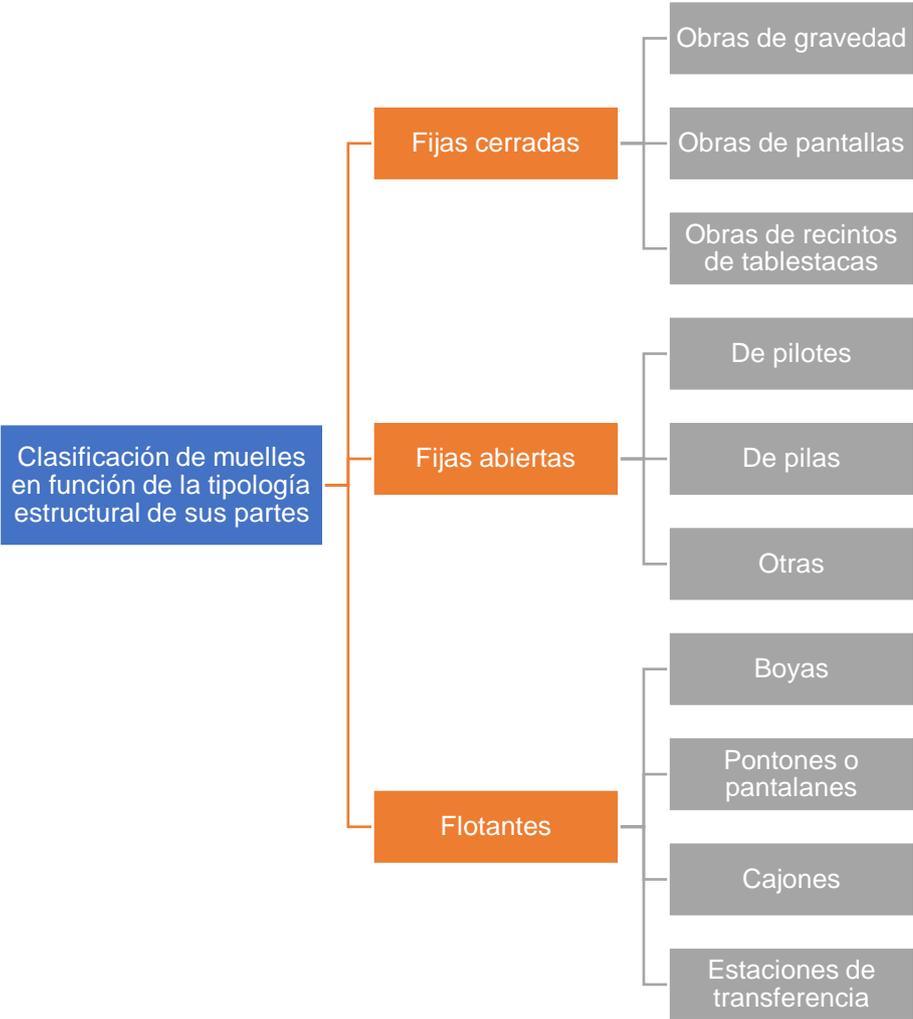


Figura 1.2 Clasificación de muelles en función de la tipología estructural de sus partes (Autores, 2020)

Las estructuras fijas cerradas son aquellas en las que, en general, no permiten un flujo importante de agua a través de ellas, aunque algunas de ellas pueden disponer de poros con el objetivo de reducir reflexiones del oleaje.

Dependiendo de la manera en la que las estructuras resisten las acciones del medio externo y transmiten las cargas a las cimentaciones, las estructuras fijas cerradas se pueden subdividir en obras de gravedad, obras de pantallas, y obras de recintos de tablaestacas.

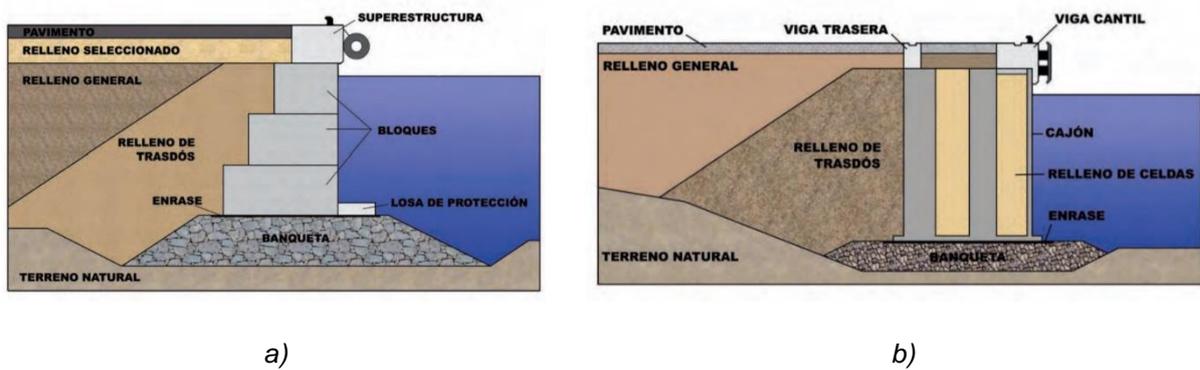


Figura 1.3 Obras de gravedad a) Muelle de bloques y b) Muelle de cajones (Llorca, José; González, José; Ametller, Sergi, 2012)

Las estructuras fijas abiertas son aquellas en las que sí se permite el paso del flujo de agua a través muelle, ya que la plataforma horizontal que se emplea para la carga y descarga está soportada por elementos estructurales verticales (pilotes, pilas, entre otros) de sección relativamente pequeña y, por lo tanto, el paramento que conforma la línea de atraque no es continuo. Este tipo de muelles también son conocidos como muelles transparentes, y se considera que generan un leve impacto en los patrones de circulación marina adyacentes a la obra (Dirección de Obras Portuarias).

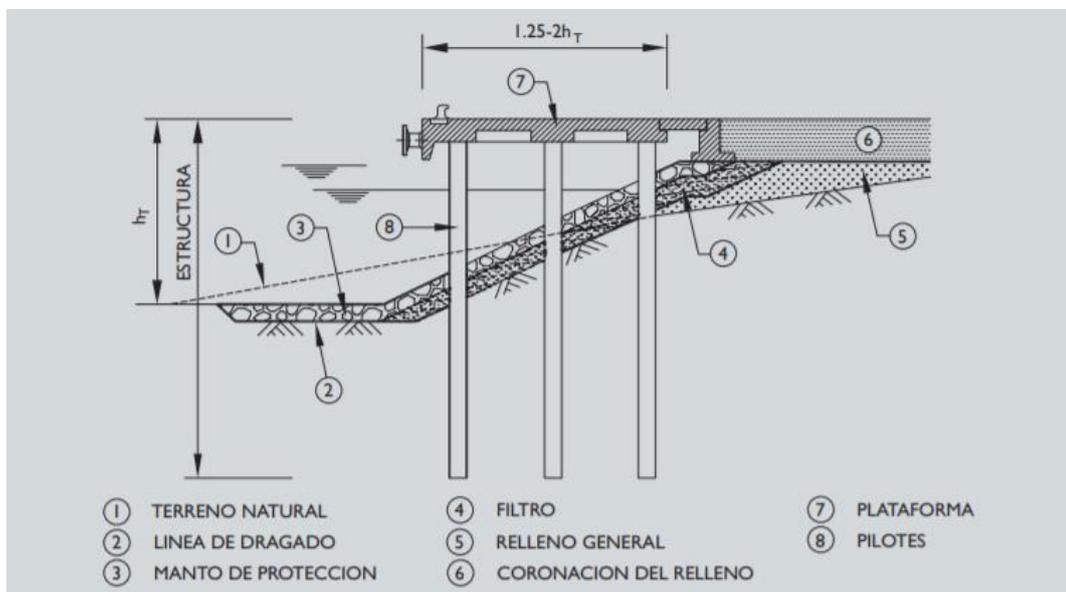


Figura 1.4 Obra de atraque de pilotes (Llorca, José; González, José; Ametller, Sergi, 2012)

Para el caso de las obras de pilotes, estos elementos pueden ser prefabricados hincados o de hormigón moldeado en el sitio de la construcción. La longitud de los pilotes depende del tipo de terreno y su estratigrafía, estos deben ser empotrados hasta que la profundidad necesaria permita por punta y/o fuste resistir las cargas que se le apliquen (Dirección de Obras Portuarias).

El muelle de la Casa de Prácticos, estructura de estudio de este proyecto, es un muelle en espigón, por su orientación perpendicular a la costa; y es una obra fija abierta soportada por pilotes.

1.5.1.2 Servicio de practicaje

El practicaje es aquel servicio prestado a todos los capitanes de buques para asesorarlos durante las operaciones de entrada y salida de canales de navegación, atraque, desatraque, fondeo y otras maniobras marítimas dentro aguas jurisdiccionales de instituciones portuarias. El objetivo de este servicio es asegurar que todas las maniobras de naves se lleven a cabo de manera segura, salvaguardando la integridad tanto del buque, el entorno y la infraestructura portuaria.

(Subsecretaria de Puertos y Transporte Marítimo y Fluvial, 2019) define al práctico como el profesional autorizado para asistir al capitán del buque “en todo lo relativo a la navegación, a las maniobras, a la legislación y a la reglamentación nacional”. Los prácticos son personas competentes para tomar el control de cualquier buque que desee operar dentro de jurisdicciones portuarias, y son los responsables de todas las maniobras y sus consecuencias una vez ellos lleguen al puente de gobierno de la embarcación.

En el Suplemento del Registro Oficial No. 148 del 15 de agosto de 2007, se aprobó el Reglamento para el Servicio de Practicaje Marítimo y Fluvial en los Puertos y Terminales de la República, en donde se estableció que “el practicaje marítimo y fluvial es un servicio portuario garantizado por el Estado” (Organo del Gobierno del Ecuador, 2007), el cual actualmente es regulado por la Subsecretaría de Puertos y Transporte Marítimo y Fluvial.

En la actualidad, la Autoridad Portuaria de Guayaquil concesiona a empresas privadas para prestar el servicio de practicaje para el Puerto Simón Bolívar. La concesión del servicio de practicaje por parte de la APG se dio en el año 2007 con el objetivo mejorar

el servicio que se brindaba a los buques que ingresaban al puerto (Álava, Pinargote, Zurita, & Mejía, 2009); antes de ese año, la APG era la institución encargada directamente del servicio. El servicio de practica funciona las 24 horas del día.

1.5.1.3 Cargas que actúan sobre un muelle

En general las cargas que actúan sobre un muelle son: cargas vivas, muertas, sísmicas, de atraque, de viento y oleaje, presión del suelo. La NEC clasifica estas cargas entre cargas variables, accidentales y permanentes. Sin embargo, para nuestro caso de estudio, la rehabilitación de una estructura existente, las normas de rehabilitación establecen que las combinaciones de carga de interés para primera instancia del diagnóstico tienen como prioridad las cargas variables vivas, las cargas permanentes muertas y las cargas accidentales sísmicas ante un evento extremo. (Norma Ecuatoriana de la Construcción, 2015)

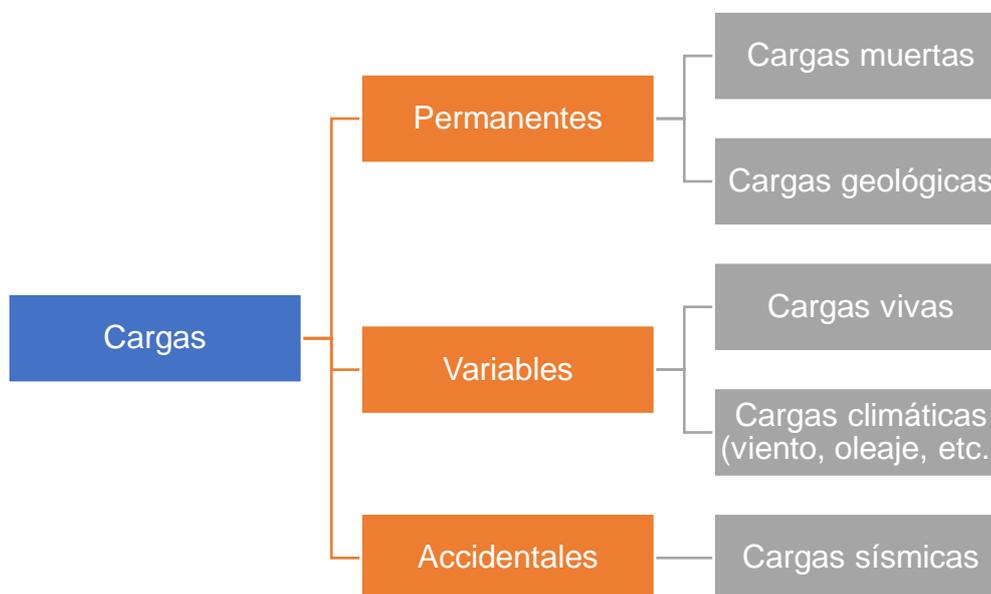


Figura 1.5 Esquema conceptual del tipo de cargas. (Norma Ecuatoriana de la Construcción, 2014)

A partir de este esquema se puede incluir como carga muerta a la carga fija del peso propio de los elementos estructurales del muelle, además de las cargas fija de instalaciones y/o piso sobre la estructura.

Por otro lado las cargas vivas son cargas variables, debido a sus cambios en el tiempo. En estas se encuentran las cargas de personas, pesos dependientes al embarque y desembarque o paso de maquinarias, entre otras.

Aunque las cargas variables climáticas sean parte de las cargas que actúan de manera constante sobre el muelle, estas son mínimas al considerar que la estructura durante su tiempo de vida útil ha podido cumplir el rol de soportarlas. En el caso de una rehabilitación, la norma establece considerar cargas que puedan generar falla en eventos extremos como sismos o sobre carga en cuanto a fuerzas gravitacionales se refiere.

Las cargas debido a las fuerzas sísmicas son dependientes de la zona de riesgo sísmico. El tipo de suelo y la zona sísmica en la que se encuentra el muelle determinan el nivel de riesgo al cuál se encuentran, la aceleración de la roca en un sismo de diseño, y factores de respuesta ante el evento. Es decir, depende de los modos de vibración, el tiempo de vibración, el suelo de asentamiento, la rigidez y tipo de estructura, factores de reducción.

1.5.2 Casa de prácticos

La Casa de Prácticos es la sede del servicio de practicaje de la Autoridad Portuaria de Guayaquil, es el lugar de hospedaje de los prácticos, en donde ellos esperan la llegada de los buques a la Boya de Mar para tomar el control de estos.

1.5.2.1 Autoridad Portuaria de Guayaquil

La Autoridad Portuaria de Guayaquil (APG) fue creada el 10 de abril de 1958 mediante decreto del Presidente del Ecuador: Camilo Ponce Enríquez (Pacheco, 2013), con el objetivo de administrar el Puerto Marítimo de Guayaquil y las operaciones de comercio nacional e internacional que se desarrollan en él. Una vez creada la APG se inició el proyecto de construcción de las instalaciones portuarias que permanecen operativas hasta la actualidad. Las cuales fueron inauguradas en enero de 1963.

La APG tiene como misión dirigir y controlar que los servicios portuarios se provean competitivamente de manera sostenible. Además de controlar, planificar y ejecutar obras que demanden sus terminales portuarias.

El puerto marítimo de Guayaquil está ubicado a orillas del Estero Salado, un brazo de mar del Océano Pacífico, en el sur de la ciudad de Guayaquil. Cuenta con un canal de acceso de aproximadamente 94 km (51 millas náuticas) de longitud desde la Boya de Mar hasta los muelles de sus terminales portuarias.

La APG posee tres terminales portuarias con un total de 10 puestos de atraque (Autoridad Portuaria de Guayaquil, 2019):

- Terminal granelero (1 muelle)
- Terminales de contenedores (4 muelles)
- Terminales multipropósito (5 muelles)

La terminal granelera se encuentra concesionada a Andipuerto Guayaquil S.A. desde 1999, mientras que las terminales de contenedores y multipropósito se encuentran concesionadas a CONTECON Guayaquil S.A.

Los servicios portuarios que brinda la APG pueden ser provistos de manera directa, por parte de la misma institución, o de manera indirecta, a través de Operadores Portuarios. Los Operadores Portuarios pueden prestar sus servicios por medio de autorización, permiso o concesión por parte de la APG (Autoridad Portuaria de Guayaquil, 2019).

Tabla 1.2 Servicios portuarios que brinda la APG (Autoridad Portuaria de Guayaquil, 2019)

	<i>Servicios prestados en tierra</i>	<i>Servicios prestados en agua</i>
<i>Directa</i>		<ul style="list-style-type: none"> • Acceso portuario marítimo • Servicio de tráfico marítimo portuario • Uso de fondeaderos
<i>Indirecta</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Terminal granelera • Terminal de contenedores y multipropósito 	<ul style="list-style-type: none"> • Practicaje • Remolcadores • Apoyo al practicaje

En la Tabla 1.2 se muestran los servicios portuarios de la APG clasificados según el tipo de prestación directa e indirecta, y prestación en tierra o en agua. El servicio de practicaje está provisto por operadores portuarios autorizados. Según (Autoridad Portuaria de Guayaquil, 2019), existen 9 Operadores Portuarios de Buque (OPB) con un total de 47 prácticos.

1.5.2.2 Muelle de la casa de prácticos

El muelle de la Casa de Prácticos es el punto de partida de los prácticos, quienes a través de lanchas parten desde allí hasta la Boya de Mar para asesorar al capitán del buque las operaciones de acceso al Puerto Simón Bolívar de Guayaquil.

Aunque en la revisión bibliográfica no se ha encontrado la fecha exacta de su construcción, es conocido por documento de inspección y por trabajadores de la APG que el muelle posee más de 40 años de funcionamiento.

La totalidad del muelle está compuesto de:

- Muelle fijo de pasarela, que conecta la superficie del terreno de la Casa de Prácticos con la línea de atraque ubicada costa afuera.
- Muelle flotante, en donde atracan las lanchas de los prácticos. Su posición vertical varía dependiendo de los ciclos de marea y el oleaje.
- Pasarela móvil, conecta el muelle fijo con el muelle flotante.

El muelle fijo de pasarela está construido de hormigón armado, soportado por 64 pilotes hincados de sección cuadrada sobre los cuales se asientan vigas longitudinales y transversales de secciones rectangulares. La longitud total del muelle fijo es de 145.82 metros lineales y posee un ancho de pasarela de 3 metros. La plataforma del muelle fijo está conformada por un sobre piso de duelas de madera de chanul, pasamanos metálicos a los costados. Además, en el muelle se encuentran adjuntas tuberías correspondientes a los sistemas de abastecimiento de agua y combustible.

El muelle flotante posee una estructura metálica que descansa sobre dos boyas principales y 3 boyas secundarias que sirven para mantener al muelle sobre la superficie

variable del mar. Sobre la estructura metálica se encuentra una plataforma de madera y elementos para líneas de amarre.

La escala móvil está compuesta de acero y se desplaza mediante un sistema de poleas conectadas con el muelle fijo.

1.5.3 Modelo computacional

Se conocen como modelos computacionales a los softwares que representan de manera abstracta sistemas complejos para predicciones, obtención de datos ante diferentes escenarios futuros, síntesis y comprensión de teorías, ilustración y visualización de ideas, y evaluación del comportamiento de los componentes del sistema en cuestión. Con los resultados obtenidos se pueden realizar los procesos de tomas de decisiones para resolver o identificar un problema. Para ello se utilizan herramientas que regulan y simulan los ensambles de las partes de un sistema, durante su tiempo de vida útil.

1.5.3.1 Tipos de modelos

Los modelos se clasifican según el mecanismo en su entorno de trabajo, el alcance del objetivo inicial al que se quiere llegar, y dimensiones. Los enfoques varían entre los geográficos, temporales, físicos, sociales, fallas, etc. Las representaciones de las observaciones con estos distintos enfoques presentan modelos como son los: no determinante, determinante, estático, dinámico, discreto, continuo, estocástico, lógicos, poblacional, numéricos y algebraicos, de caja negra. (Calder, 2018) Los cuatro tipos de modelos básicos que engloban lo mencionado son: icónicos, gráficos, análogos y matemáticos (Sargent, 2015). Para todos ellos se realizan validación con información previa del sistema, o in situ.

Dentro de los modelos matemáticos se encuentran los modelos del tipo estructural. Los modelos estructurales pueden ser analíticos o de evento discreto, y en el caso de estructuras pueden tener enfoques de análisis lineal o no lineal, dependiendo de la disponibilidad de información de entrada.

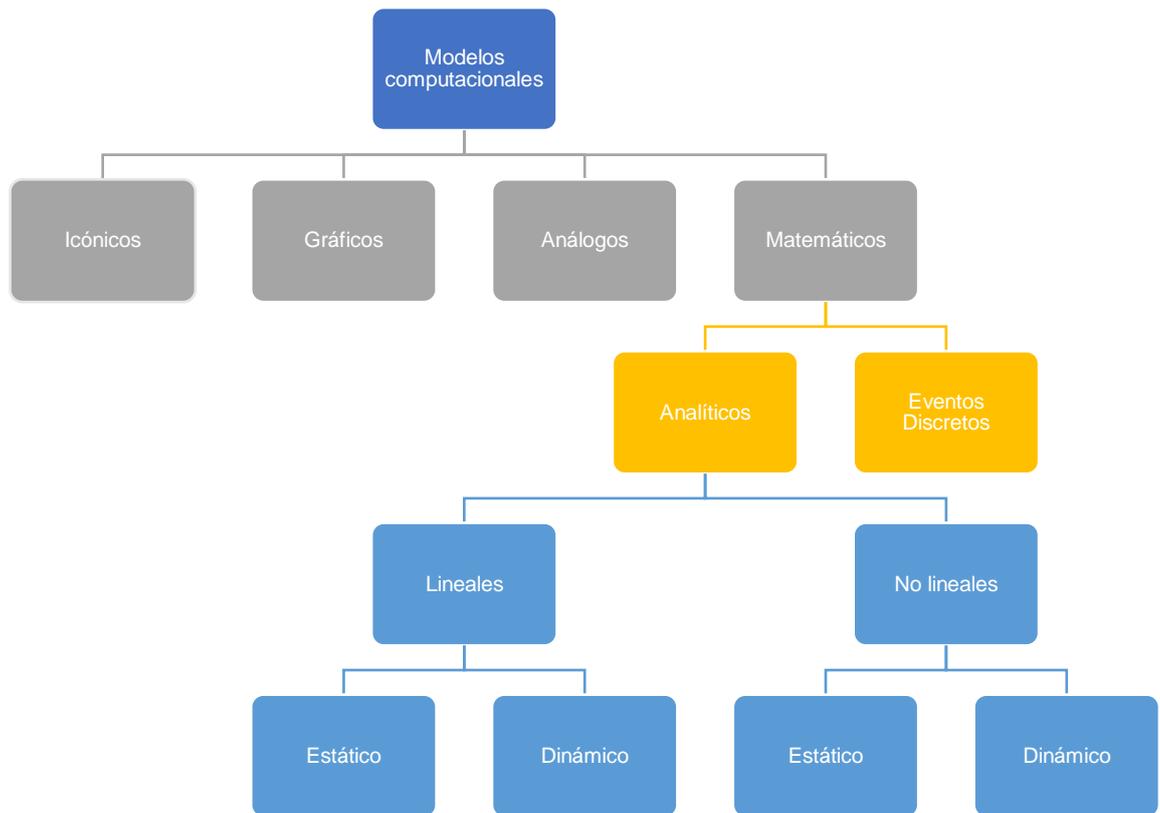


Figura 1.6. Diagrama de clasificación de los tipos de modelos computacionales. (Autores, 2020)

1.5.3.2 Modelos de análisis estructural

Existen 3 enfoques a los que el análisis estructural puede estar dirigido: la mecánica de materiales, la teoría de elasticidad con el método de mecánica continua, y el de elementos finitos. (Pipinato, 2016). Para cualquiera de estos, se puede examinar tanto comportamientos dinámicos y estáticos, y de estos los lineales o no lineales. (Lourenco) Los dos enfoques primeros tienen limitaciones a resolver principalmente estructuras de elementos de geometrías sencillas y condiciones de carga simples. Y aunque el tercer enfoque, FEM, tiende a tener como restricción su dependencia a las ecuaciones de teorías estructurales (ej. De los otros enfoques mencionados) permite evaluar con mayor exactitud y en un tiempo corto geometrías complejas y condiciones de carga a la vez con uso de herramientas tecnológicas (a diferencia de los otros 2 enfoques).

El hormigón tiene un comportamiento no lineal ante la fisuración y respuesta a las cargas de tensión, y en conjunto a el comportamiento de otros materiales con propiedades diferentes como el acero, se genera una complejidad en las variaciones de la respuesta

de las reacciones, desplazamientos y esfuerzos internos de la estructura. Para simplificar este análisis de elementos con diferentes dimensiones y propiedades, los modelos de análisis estructural recomendados son aquellos que en su mayoría tienen como base el Método de los Elementos Finitos (FEM).

La metodología FEM consiste en un proceso donde se analiza la estructura por elementos simples o partes más pequeñas, se reconectan los elementos en nodos interpolando, generando ecuaciones algebraicas simultáneas. (De Weck & Il, 2004) . Es decir que en esta se toma en consideración cuando las expresiones algebraicas son complejas para representar todo un dominio.

Entre los programas más mencionados en documentos científicos de páginas como ResearchGate, Google Scholar, y revistas científicas, los softwares más confiables en cuanto a tiempo de procesamiento y facilidad de uso se encuentran: STADPRO, ETABS, SAP2000, ANSYS; todos cuya metodología de trabajo es basada en la FEM.

Tabla 1.3 Métodos de análisis en modelos computacionales según sus atributos (Abell, 2014)

Tipo de Análisis	Lineal	No lineal
Estático	Basado en Fuerzas	Push- Over
Dinámico	Espectro de respuesta	Tiempo-Historia

CAPÍTULO 2

2. CARACTERIZACIÓN DEL MEDIO FÍSICO

Los estudios previos para la caracterización de la zona son provenientes tanto de información histórica de los últimos 20 años recopilados por INOCAR, como de la validación de información satelital, presentada en gráficas representativas de diferentes variables elaboradas por los autores.

2.1 Condiciones ambientales

El muelle de prácticos se encuentra situado en Data Villamil, zona que se caracteriza por estaciones meteorológicas de la zona regional ecuatoriana, influenciada por la Zona de Convergencia Tropical (ZCIT), resultando en 2 principales: estación seca entre los meses de junio y noviembre, y estación húmeda entre los meses de diciembre y mayo. (Geoestudios-Consulsua, 2014)

2.1.1 Meteorología

2.1.1.1 Vientos

Los vientos con mayor magnitud se presentan en su mayoría en la época seca, alrededor del mes de agosto, cuando los vientos alisios del sur son más fuertes. En la época húmeda estos vientos alisios aminoran en intensidad resultando en los vientos alisios del norte predominantes, entre los meses de junio y noviembre. Para el 2014, en estudios realizados por CONSULSUA para el Municipio de Guayaquil, se registraron para la fase de cuadratura vientos que alcanzan un promedio de 4.4 m/s y 4.3 m/s, con una dirección predominante de 270°W. Mientras que para la fase de sicigia oscilan entre 4.7 y 4.9 m/s con dirección predominantes entre 280° y 285°W. Es decir que, para el mes de diciembre, en la época húmeda, los vientos se caracterizan por estar entre magnitudes de 4 y 5 m/s, con dirección predominante entre 270° y 285°W. (Geoestudios-Consulsua, 2014).

Esta información sirvió para validar la data satelital, proveniente de ERDAPP, NOAA. La resolución espacial de esta data es de 1°, y se escogió debido a la existencia de información el punto donde se encuentra el muelle, en el set de datos. La Figura 2.1 muestra que los vientos predominantes fueron del Oeste.

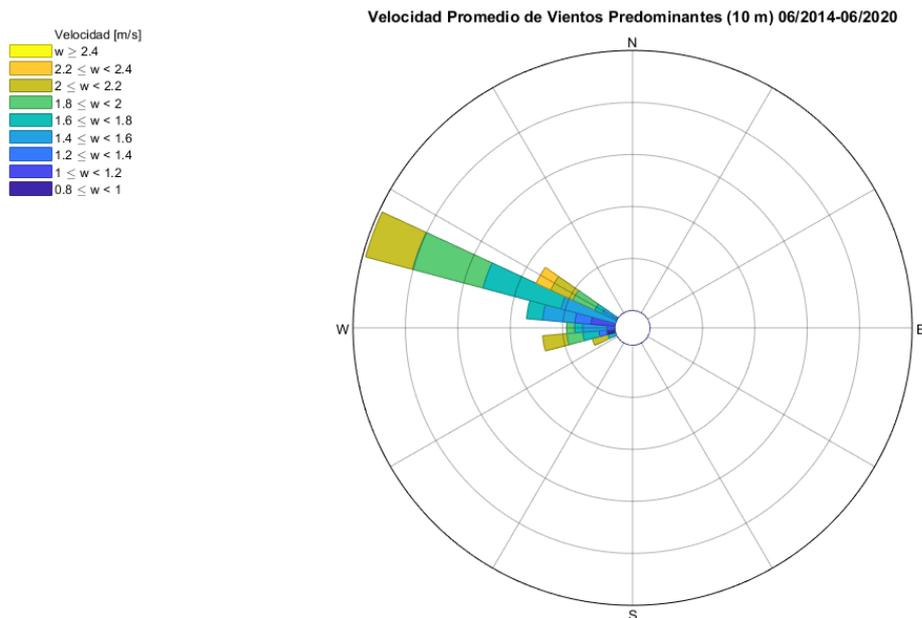


Figura 2.1 Vientos Predominantes Anuales a 10 metros de la superficie. Fuente: FNMOC-ERDAPP, NOAA, 1° de resolución. (Autores, 2020)

Cabe recalcar que la data in situ tomada por (Geoestudios-Consulsua, 2014) fue realizada para el mes de diciembre del 2013 y enero del 2014, mientras que la data satelital obtenida en el punto de interés fue obtenida fuera del rango.

2.1.1.2 Climatología

El clima, en especial las precipitaciones y la temperatura, de la región costera se ve influenciado como en todo el Ecuador por la Zona de Convergencia Intertropical (ZCIT). El tipo de clima tropical de la zona de Data Villamil se caracteriza como ‘Tropical Megatérmico Seco’, según (Geoestudios-Consulsua, 2012).

Acorde a la Figura 2.2 y Figura 2.3., se relacionan temperaturas máximas en los meses de época húmeda entre enero y abril, coincidiendo con los máximos de precipitación de 200-250 mm mensuales en los mismos meses. Entre mayo y octubre se presentan bajas de precipitación de hasta 0 mm, coincidiendo con temperaturas mínimas de 20°C.

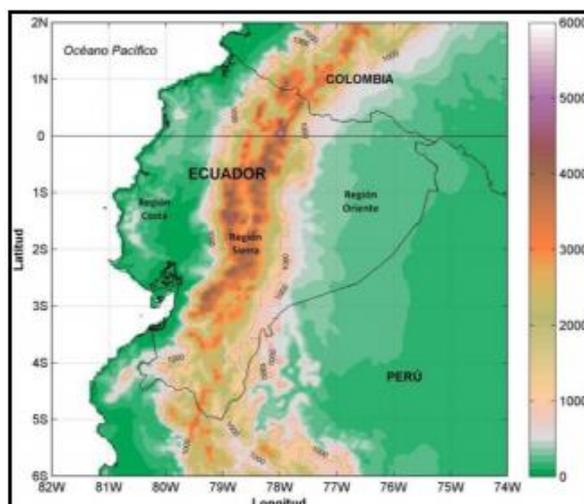


Figura 2.2 Atlas Pluviométrico del Ecuador. Documento técnico de la UNESCO 2010. (Geoestudios-Consulsua, 2012)

Parámetro	Unidad	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Temperatura*	°C	23	23.3	23.4	23	22.5	21	20.5	20	20.3	20.8	22	21.8
Precipitación	mm	200	250	250	175	50	25	10	0	0	5	10	40
Humedad relativa*	%	75	75	75	75	75	75	75	75	75	75	75	75
Viento*	Puntos	SW	NE	SW	SW	SW	SW	SW	SW	SW			
	m/s	2.4	2.6	3.0	2.4	2.2	2.3	2.8	2.5	2.6			
Heliofanía*	horas	94	90	128	138	136	113	119	115	142	117	108	118
Evaporación*	mm	118	80	100	105	118	110	115	128	135	139	137	146

Figura 2.3. Promedios Meteorológicos de 1948-2008, y en * del 1948-2003 de parámetros en la estación de Guayaquil - INOCAR. (Geoestudios-Consulsua, 2012)

Estacionalmente, en la climatología del En cuanto a la información satelital, se descargaron datos de IRIS (Interface Region Imaging Spectrograph) del periodo 2000 al 2016, donde se realizó un acumulado estacional para la gráfica espacial en Matlab. Aunque la línea de costa no permite apreciar la entrada a la estación de Guayaquil, se puede observar que el promedio estacional es un aproximado de más de 500 mm semestrales. Para la zona de estudio no se obtuvo datos completos para ambas estaciones (húmeda y seca), por lo que se puede validar los datos de la consultora más no acotar información nueva.

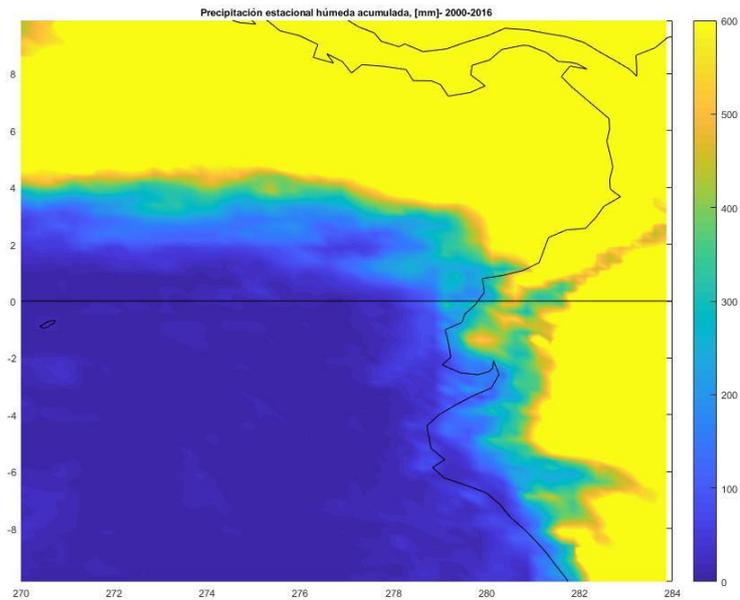


Figura 2.4 Promedios estacionales de precipitaciones, acumulado semestral en mm. Data de IRIS TRMM_L3, diarios. (Autores, 2020)

2.1.2 Oceanografía

2.1.2.1 Oleaje

En el Ecuador, el oleaje predominante que llega a las costas se genera en los fetch, los cuales son zonas ubicadas en el Océano Pacífico en latitudes medias-altas en donde el alcance y duración de los vientos son lo suficientemente grandes para generar olas energéticas que se propagan a varias regiones continentales (Vera S. & Marín V., 2015).

De manera general, el oleaje que llega al Ecuador proviene del suroeste, sin embargo, existe una incidencia estacional, ya que en los meses de la época húmeda los frentes del norte tienen una mayor incidencia, mientras que en la época seca son los frentes del sur los que predominan (Geoestudios-Consulsua, 2014).

Para caracterizar el oleaje en la zona de estudio, se obtuvieron datos del modelo de tercera generación WAVEWATCH III desarrollado por la NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration). Los datos obtenidos corresponden a parámetros de oleaje (periodo, altura y dirección) cada 3 horas para una boya virtual ubicada en el océano. Se seleccionó la boya virtual más cercana a la zona de estudio.

Debido a que la boya virtual se encuentra muy lejos de la costa, se empleó la metodología de refracción del (U.S. Army Corps of Engineers, 2015), asumiendo que la pendiente de la playa es plana con contornos regulares. En este trabajo, se realizó la refracción al veril de los 9 metros, debido a que es en este veril en donde aproximadamente termina el muelle fijo y se encuentra la línea de atraque.

Los resultados se muestran en la Figura 2.5, en donde se observa que la dirección del oleaje predominante es del suroeste (225°), además el rango del oleaje en el que se encuentra la mayor parte de los datos está entre 1.5 y 2 metros.

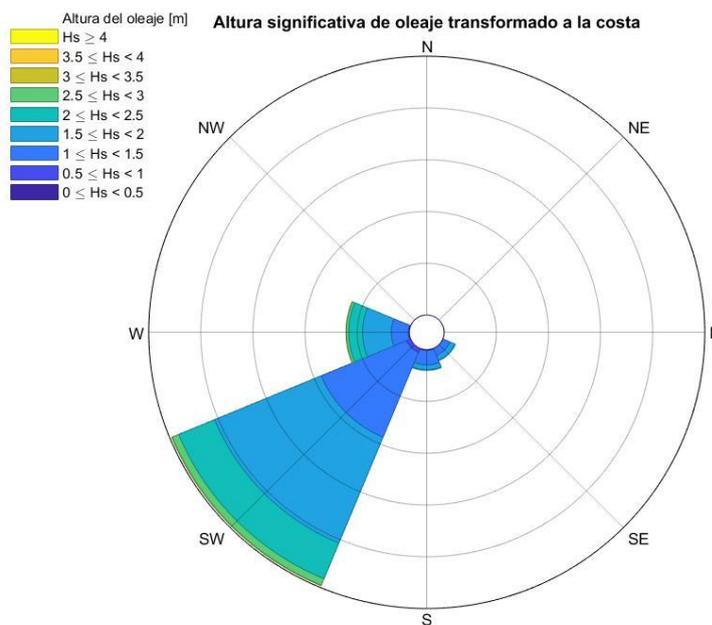


Figura 2.5 Altura significativa de oleaje transformado a la costa. Fuente: WAVEWATCH III

En la Figura 2.6 se muestra un histograma con los datos de periodos de olas. El intervalo de clase que posee una mayor probabilidad de periodos se encuentra entre 13 y 14.3 segundos.

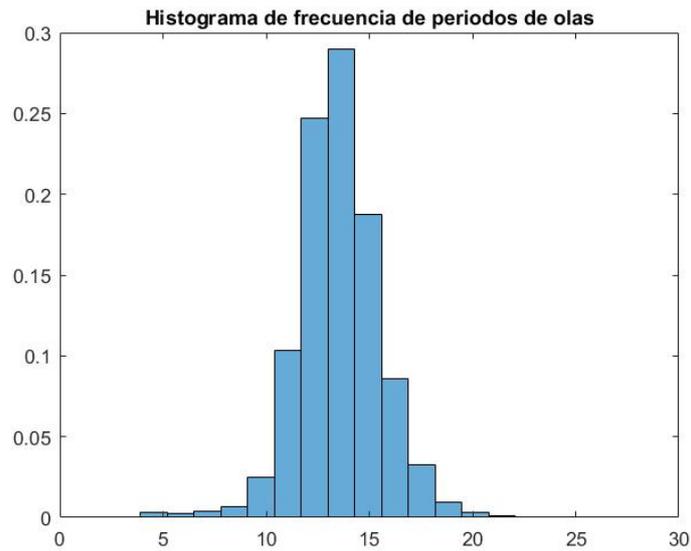


Figura 2.6 Histograma de frecuencias de periodos de olas (Autores, 2020)

Adicionalmente, esta información fue comparada con datos in situ tomados cerca de la zona de estudio por parte del Instituto Oceanográfico y Antártico del Ecuador (INOCAR) en el año 2007.

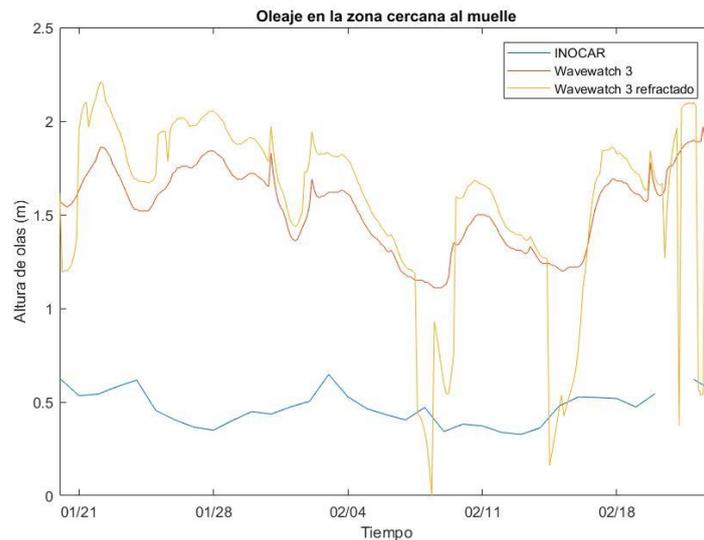


Figura 2.7 Comparación de datos de oleaje entre datos obtenidos de WAVEWATCH III, datos obtenidos de WAVEWATCH III refractados y datos in situ proporcionados por INOCAR para un mismo periodo de tiempo (21 de enero 2007 - 18 de febrero 2007) (Autores, 2020)

En la Figura 2.7 se muestra una comparación de serie de tiempo de los datos proporcionados por INOCAR con los datos obtenidos de WAVEWATCH III, en donde se notable que no existe una buena correlación de ambas fuentes de datos. Uno de los

motivos de esta discordancia de información, se debe a que los datos que provee el modelo WAVEWATCH III corresponden a una boya virtual ubicada muy lejos de la costa, a pesar de ser la que más cerca de la zona de estudio se encuentra con respecto a las demás boyas virtuales.

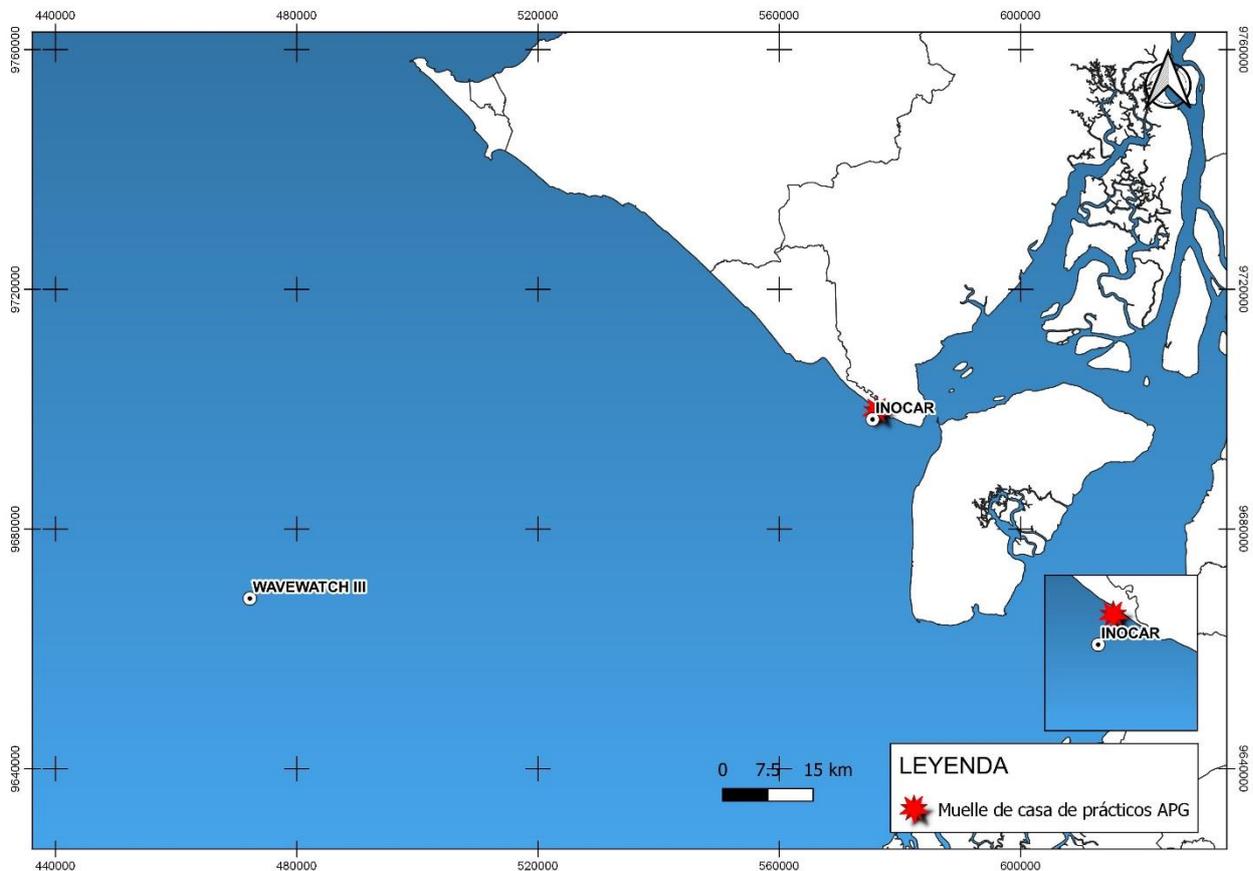


Figura 2.8 Ubicación de fuentes de datos de oleaje (Autores, 2020)

Los datos de INOCAR muestran que las alturas de olas se encuentran entre 0.35 y 0.70 metros para el periodo de tiempo de enero-febrero del 2007. Estos datos guardan relación con los que presentan (Vera, Lucero, & Mindiola, 2009), ya que en este estudio se encontró una altura media significativa de 0.57 m para el sector de Los Goles, el cual se encuentra relativamente cerca de la zona de estudio.

2.1.2.2 Corrientes

De igual manera que los datos de oleaje, los datos de corrientes fueron proporcionados por el INOCAR, quienes realizaron una campaña de toma de datos in situ en el 2007 en el sector de Los Goles.

Tabla 2.1 Velocidad y dirección de las corrientes. Enero del 2007.

	Longitud	latitud	Velocidad Promedio	Velocidad Máxima	Dirección	Marea	Fecha
SUPERFICIE			m/s	m/s	grados		
	80° 18' 00" W	02° 44' 24" S	0.52	1.27	124	FLUJO	17/01/2007
	(Boya 8)		0.25	0.58	312	REFLUJO	
	80° 18' 00" W	02° 45' 00" S	0.57	0.82	127	FLUJO	18/01/2007
	(Boya 8A)		0.12	0.93	84	REFLUJO	
	80° 17' 24" W	02° 45' 00" S	0.98	1.24	125	FLUJO	19/01/2007
	(Boya 10)		0.35	1.53	318	REFLUJO	
	80° 16' 48" W	02° 45' 36" S	1.2	1.36	117	FLUJO	20/01/2007
	(Boya 11)		0.33	1.03	293	REFLUJO	
MEDIO	80° 18' 00" W	02° 44' 24" S	0.53	1.04	122	FLUJO	17/01/2007
	(Boya 8)		0.27	0.51	323	REFLUJO	
	80° 18' 00" W	02° 45' 00" S	0.55	0.82	127	FLUJO	18/01/2007
	(Boya 8A)		0.11	0.89	89	REFLUJO	
	80° 17' 24" W	02° 45' 00" S	0.97	1.18	126	FLUJO	19/01/2007
	(Boya 10)		0.31	0.99	314	REFLUJO	
	80° 16' 48" W	02° 45' 36" S	1.13	1.29	124	FLUJO	20/01/2007
	(Boya 11)		0.36	0.88	297	REFLUJO	
FONDO	80° 18' 00" W	02° 44' 24" S	0.45	0.97	121	FLUJO	17/01/2007
	(Boya 8)		0.29	0.51	322	REFLUJO	
	80° 18' 00" W	02° 45' 00" S	0.5	0.81	128	FLUJO	18/01/2007
	(Boya 8A)		0.13	0.86	112	REFLUJO	
	80° 17' 24" W	02° 45' 00" S	0.88	1.15	126	FLUJO	19/01/2007
	(Boya 10)		0.26	0.97	313	REFLUJO	
	80° 16' 48" W	02° 45' 36" S	1.04	1.22	124	FLUJO	20/01/2007
	(Boya 11)		0.49	0.80	294	REFLUJO	

La boya 8 es la que se encuentra más cercana a el muelle de la casa de prácticos, por lo tanto, los valores de las corrientes cerca de ese punto describen en buena forma el comportamiento de las corrientes en los alrededores del muelle. La magnitud de la

corriente es mayor durante la fase de flujo, que en la fase de reflujó; la media de la magnitud de la corriente superficial es de 0.52 m/s durante flujo, mientras que la magnitud de reflujó es de 0.25 m/s. La magnitud de corriente en superficie máxima durante el tiempo de toma de datos fue de 1.27 m/s.

Los valores promedio en la boya 8 son relativamente menores a los valores presentados en el resto de las boyas muestreadas, las cuales se encuentran más al sureste de la zona de estudio y más cercanas a la entrada del Estero Salado.

La dirección de la corriente cambia significativamente en las fases de marea sicigia y cuadratura. Durante la fase de flujo la dirección de la corriente es de 124° (sureste), sin embargo, durante reflujó la dirección de oleaje cambia a 312° (noroeste). Este cambio de dirección se puede asociar con el ingreso o salida del volumen de agua en el estuario del Guayas, ya que la ubicación del muelle en Data de Villamil se encuentra en la zona externa del estuario.

Las corrientes a una profundidad media y en el fondo tienen un comportamiento similar al patrón mostrado para las corrientes superficiales.

2.1.2.3 Mareas

En las costas ecuatorianas, las mareas son de tipo semidiurna, es decir, en aproximadamente un día (24.5 horas) se presentan dos pleamares y dos bajamares (Geoestudios-Consulsua, 2014). En Data de Villamil, se encuentra una estación mareográfica del INOCAR, el mareógrafo está justamente ubicado en el muelle de la casa de prácticos.

En la Figura 2.9 se muestran los promedios diarios de altura de mareas durante todo el año 2020. La máxima altura diaria promedio es de 1.43 metros con respecto al promedio de las bajamares de sicigia (MLWS).

Se ha seleccionado el mes de septiembre para ilustrar el comportamiento de la marea en más detalle, Figura 2.10, en este gráfico se puede observar que para uno de los días de septiembre se presenta el máximo pico de marea mensual que corresponde a los 2.71

metros sobre el MLWS, mientras que el mínimo es de 0.08, teniendo una amplitud máxima de marea de 2.63 metros.

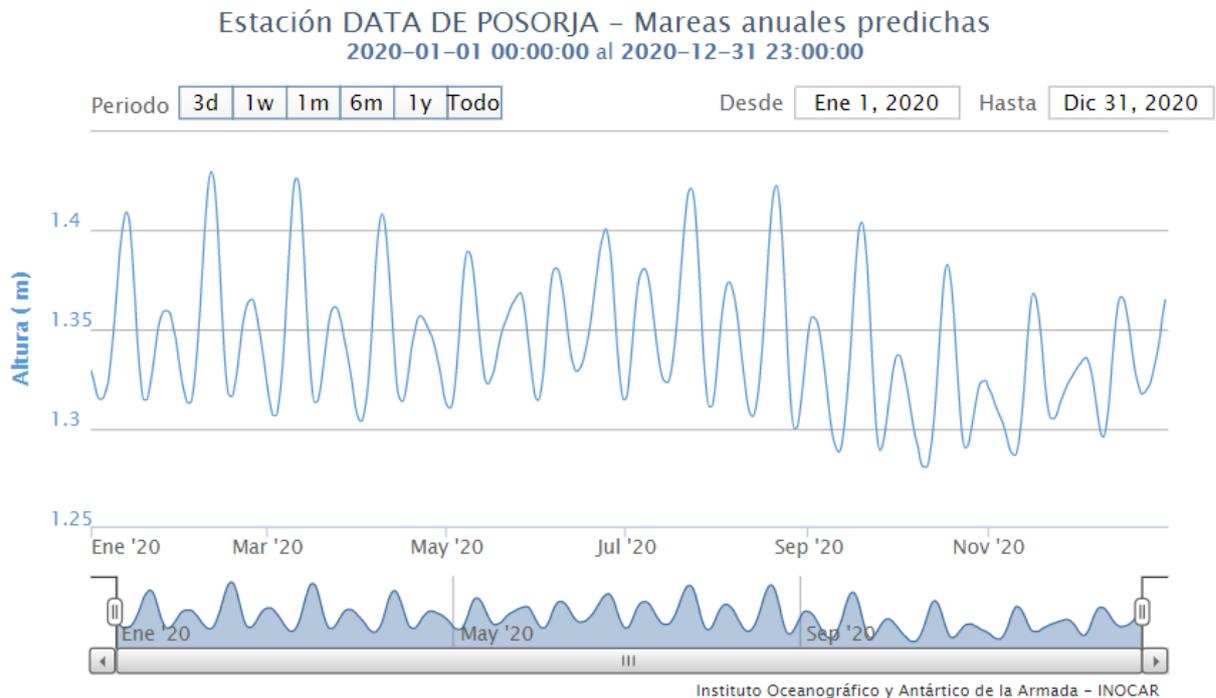


Figura 2.9 Mareas anuales en la estación de Data (INOCAR, 2020)

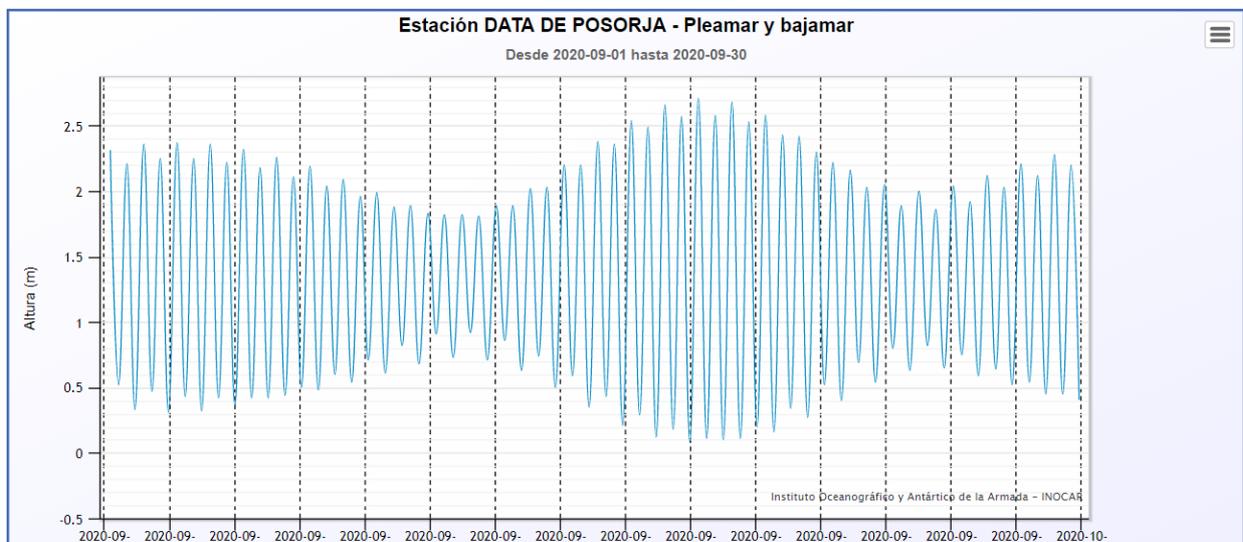


Figura 2.10 Mareas mensuales en la estación de Data (INOCAR, 2020)

2.1.3 Geomorfología

2.1.3.1 Geología

El sector de la zona de estudio, comprendido entre las áreas de Data Villamil y Data de Posorja, se caracterizan por materiales vulcano-rocosos de tamaño variable, pertenecientes a la formación Cayo de la edad Cretácica. Sobre esta formación se acumulan materiales granulado-arenosos, limosos y arcillosos en un ambiente litoral marino, diferenciando tres formaciones definidas: Socorro, Zapotal y Progreso. Encima de estas se encuentran acumulados sedimentos finos acompañados de material calcáreo, formando los tablazos. El río Data Posorja drena la zona de Norte a Sur, hasta desembocar al Océano Pacífico, siendo considera el de mayor caudal del sistema fluvial del régimen temporal del área. (Ministerio del Ambiente Guayas, 2014)

En cuanto a la morfología del fondo submarino, se caracteriza por la plataforma litoral formada por el flujo y reflujos de las corrientes de mareas, canales de marea y llanuras de marea. La zona costera se caracteriza por una morfología compuesta de arenas gruesas y gravas próximas a la franja costera, y sedimentos más finos distribuidos desde el borde del canal externo a la llanura mareal. (GeoEstudios, 2014)

La extensión del territorio en Data Villamil está formada por miembro zapotal y depósitos marinos en menor proporción. El muelle se asienta al suroeste de la parroquia identificado por ser parte de la formación Progreso, según un estudio topográfico y estratigráfico por parte de Redes S.A para la Autoridad Portuaria de Guayaquil. (Villacrés, Lastra, & Castillo, 2018)

2.1.3.2 Geotecnia

El área de estudio, según (GeoEstudios, 2014), comprende de areniscas y tobas pertenecientes a la formación Progreso Superior. Como resultados de las perforaciones en 2014 por la consultora, se tiene un perfil que inicia con 5 metros de arena limosa, seguido de 18 metros de suelo arcilloso, para finalmente llegar a un contacto rocoso compuesto de areniscas intercaladas con lutitas. Las areniscas de la formación Progreso superior pueden ser blancas, arcillas verdes y lutitas. (Ministerio del Ambiente Guayas, 2014). La geofísica de reflexión de este estudio mostró que, los sedimentos van de grano

fino a medio, hasta detectar presencia de arenisca y fragmentos de conchillas, confirmada por los afloramientos rocosos. (GeoEstudios, 2014).

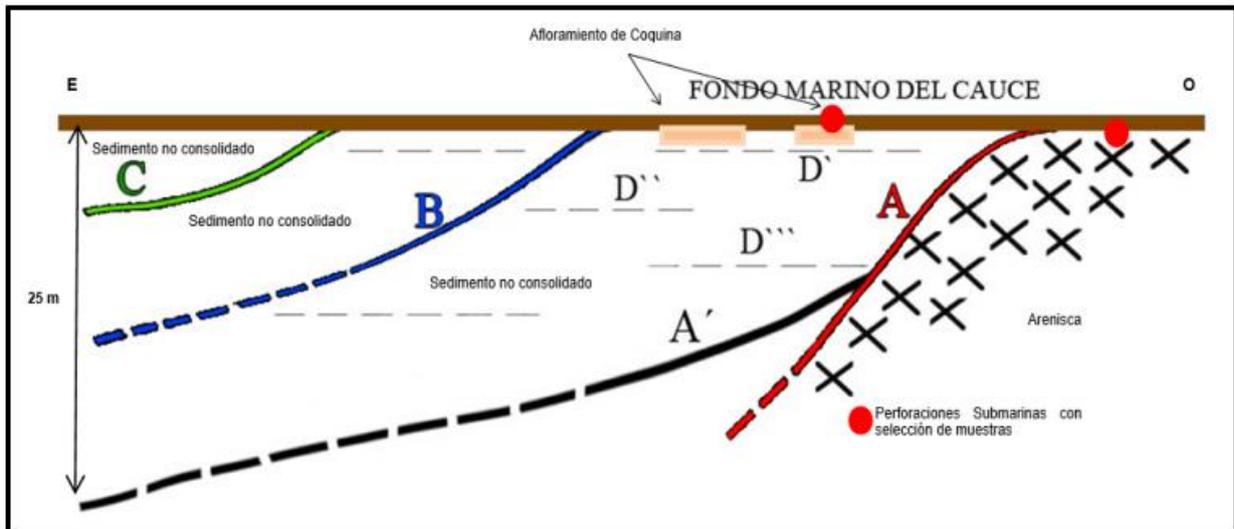


Figura 2.11 Modelo geofísico para la estratigrafía. (GeoEstudios, 2014)

Estudios realizados por Redes S.A. en el 2018 comprueban esta información, mostrando que como resultados de los sondeos realizados se tiene de 0 a 6 metros de profundidad se encuentra arena limosa de características como: color gris a café, humedad baja, plasticidad nula, presencia de fragmentos conchas, y una consistencia de suela a densa. (Villacrés, Lastra, & Castillo, 2018)

MANIOBRA	PROF. (M)	SP01
1	0.00-1.00	-
2	1.00-2.00	8
3	2.00-3.00	21
4	3.00-4.00	31
5	4.00-5.00	38
6	5.00-6.00	34

Figura 2.12 N30 del ensayo de penetración estándar por Redes S.A. (Villacrés, Lastra, & Castillo, 2018)

Estos resultados fueron obtenidos mediante el ensayo de Penetración Estándar de una perforación, cada metro de profundidad, como se puede observar en la Figura 2.12. Con

respecto al nivel freático se considera a una profundidad de 2 metros, tomando en cuenta que es un valor puntual, y una capacidad de carga alta.

MANIOBRA	PROF. (M)	SUCS	HUMEDAD %	FINOS %	LÍMITE LIQUIDO	LÍMITE PLASTICO	ÍNDICE PLASTICIDAD
1	0.00-1.00	SIN MUESTRA / EXCAVACION CON ABRE HOYOS					
2	1.00-2.00	SM	18	22	NP	NP	NP
3	2.00-3.00	SM	20	26	NP	NP	NP
4	3.00-4.00	SM	15	26	NP	NP	NP
5	4.00-5.00	SM	13	29	NP	NP	NP
6	5.00-6.00	SM	13	17	NP	NP	NP
FIN DEL SONDEO							

Figura 2.13 Resultados de la clasificación de suelos SUCS. (Villacrés, Lastra, & Castillo, 2018)

MUESTRA	γ (g/cm ³)	ÁNGULO DE FRICCIÓN INTERNA (°)	COHESIÓN (kg/cm ²)
SH01	1,740	32,00	0,01

Figura 2.14 Ángulo de fricción interna, resultado de ensayo de corte directo. (Villacrés, Lastra, & Castillo, 2018)

La granulometría muestra una clasificación por tamaño de los granos que componen las muestras, por medio del método de tamices, y así analizar el comportamiento mecánico del suelo. Como se menciona en la sección 2.1.3.1, el material granular consiste en arenas, limos y arcillas, resultado de rocas ígneas pobremente cementadas de alta dureza y resistencia a la comprensión. (Ministerio del Ambiente Guayas, 2014)

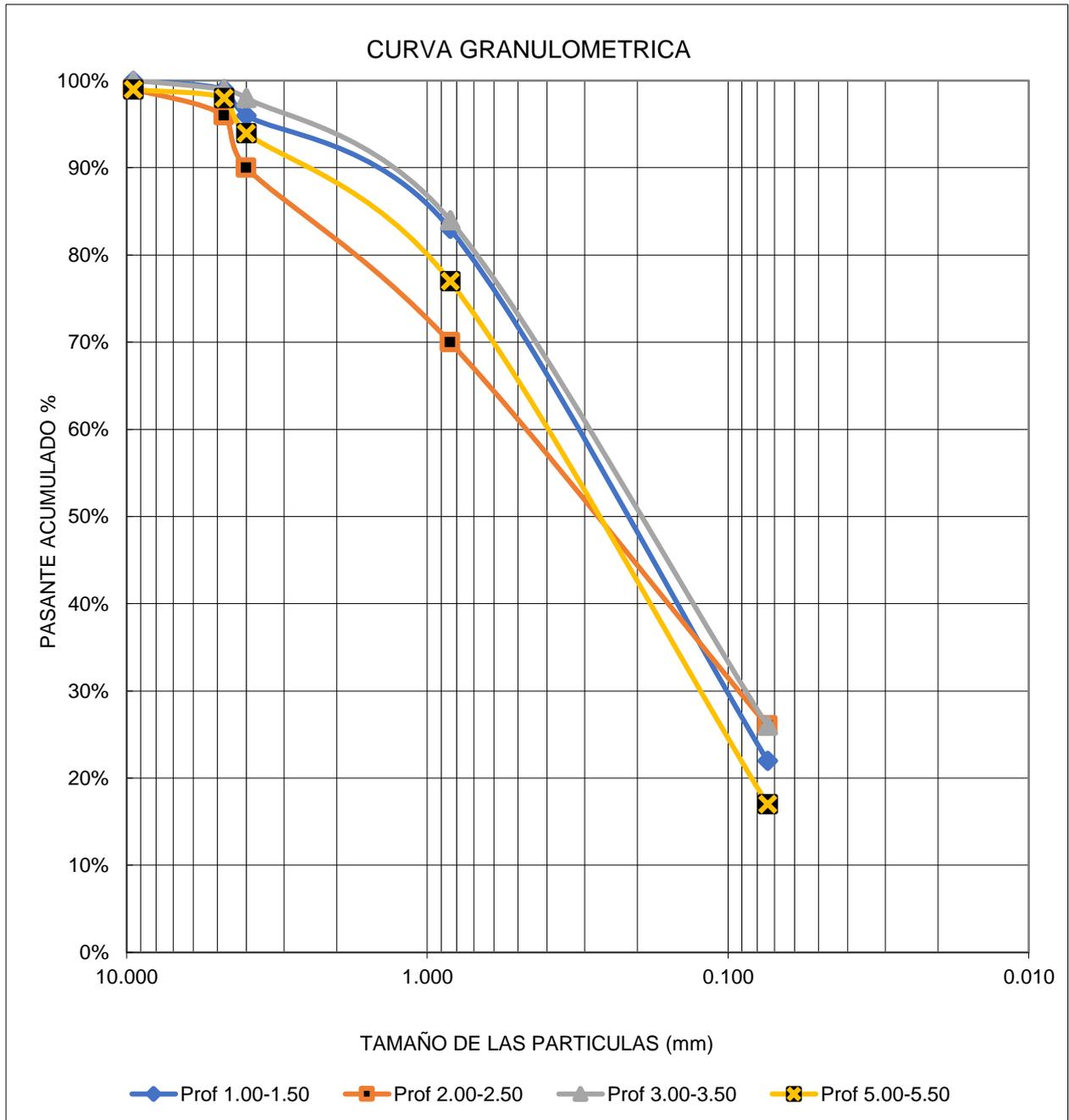


Figura 2.15 Curvas granulométricas del sondeo realizado por Redes S.A en el 2018. (Autores, 2020)

A partir de los resultados de los ensayos de laboratorio en dicho estudio, se muestran resultados de la resistencia, capacidad de carga y clasificación del suelo, como se puede observar en la Figura 2.13, Figura 2.14 y Figura 2.15. Por consiguiente, el estudio relaciona el perfil del suelo del área de la casa de prácticos en Data Villamil como Tipo C, para el análisis de sismicidad. Esta clasificación se considera para el presente proyecto.

SU KG/CM2	PERFIL DEL SUELO	DESCRIPCION
1,49	C	PERFILES DE SUELO MUY DENSOS O ROCA BLANDA QUE CUMPLAN CON CUALQUIERA DE LOS DOS CRITERIOS: $\bar{N} \geq 50.0$ $\bar{S}_u \geq 100 \text{ KPa } (\approx 1 \text{ kgf/cm}^2)$

Figura 2.16 Perfil del suelo para diseño sismo resistente. (Villacrés, Lastra, & Castillo, 2018)

2.1.3.3 Sismicidad

El perfil costero de ecuatoriano se encuentra en la zona de subducción entre la placa de Nazca y las placas continentales, que amortigua e impide la ruptura o generación de terremotos mayores a 8 grados de la escala de Richter. Para la evaluación de la licuefacción de los suelos, se caracteriza el análisis de energía sísmica del peligro, tomando el PGA, o valores máximos de aceleración de la roca, como uno de los valores a considerar. (Moreno-Alcivar, Muñoz-Rosado, & Ramírez-Palma, 2019) Este valor se obtiene mediante lo estipulado en la Norma Ecuatoriana de Construcción, acorde al capítulo de Diseño Sismo Resistente, del año 2015.

La zona de Data Villamil se encuentra en una zona de riesgo sísmico VI, dándole un valor de factor Z (aceleración máxima en roca esperada para el sismo de diseño, fracción de la aceleración de la gravedad) ≥ 0.5 , es decir un peligro sísmico de magnitud Muy Alta, como se puede observar en la Figura 2.17. Este mapa de zonificación representa un 10% de excedencia en 50 años, con un periodo de retorno de 475 años, que incluye una saturación a 0.50 g PGA. (Norma Ecuatoriana de Construcción, 2015)

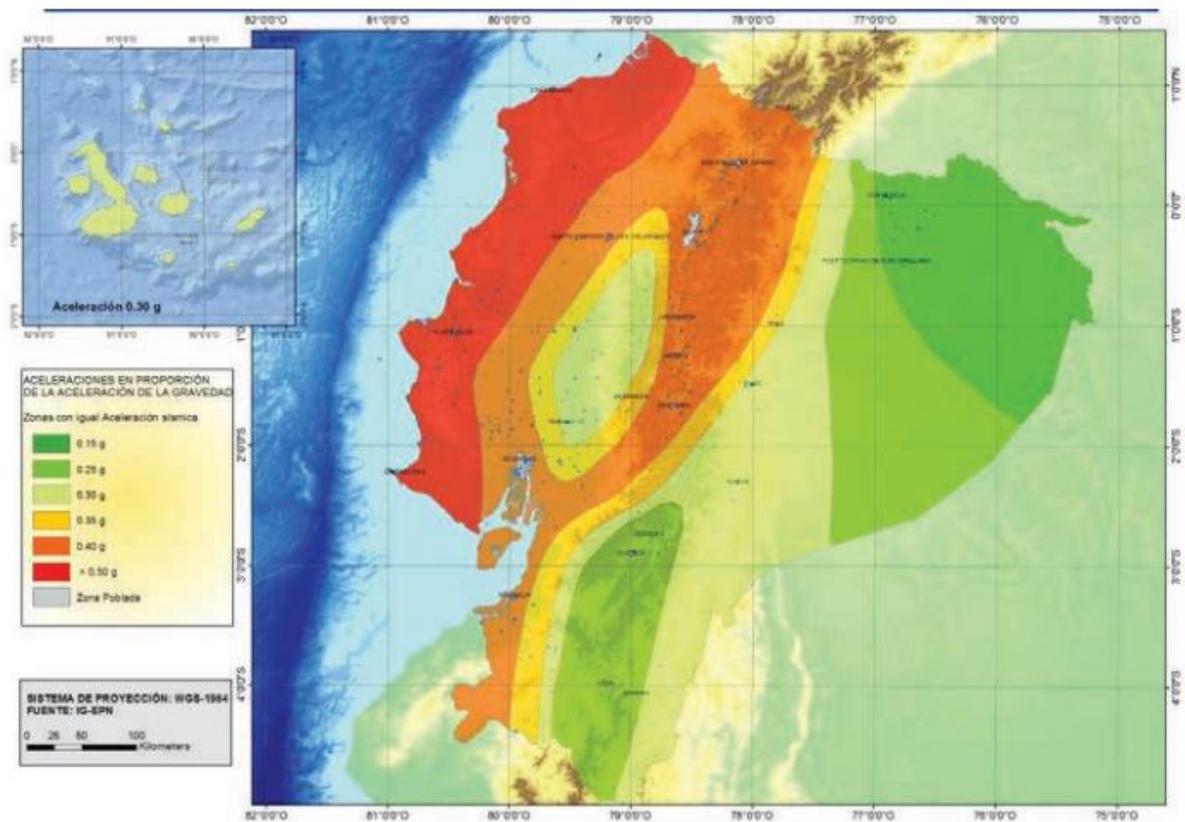


Figura 2.17 Mapa de clasificación de Riesgo Sísmico, factor Z. (Norma Ecuatoriana de Construcción, 2015)

Con este valor y sabiendo que el suelo es del tipo C para la zona del muelle de prácticos, se tiene que los coeficientes de perfil de suelo F_a , F_d y F_s tienen los valores: 1.18, 1.06 y 1.23 respectivamente. Todo esto en base a las tablas de la sección 3.2.3. del capítulo de Diseño Sismo resistente de la NEC 2015.

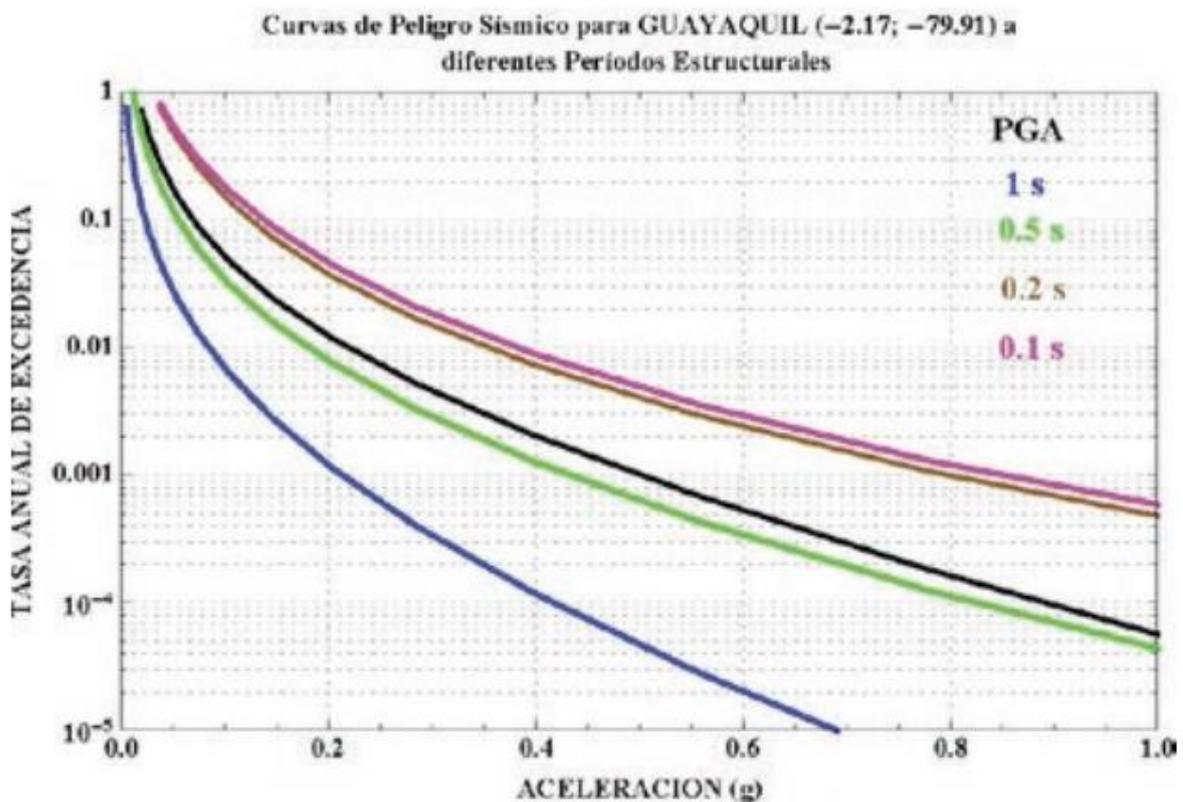


Figura 2.18 Curva de Peligro Sísmico para Guayaquil, selección del PGA. (Norma Ecuatoriana de Construcción, 2015)

Para seleccionar las curvas de peligro sísmico, también se toma en consideración el PGA de 0.5 s, con una tasa anual de excedencia del 10% para obtener la aceleración en la *Figura 2.18*. La NEC 2015 establece que una vez definido todos estos parámetros, se determina el valor del periodo de vibración. Para ello se debe utilizar la metodología I de la sección 6.3.3. de la NEC-SE-DS, donde se utiliza la siguiente ecuación:

$$T = C_t * h_n^\alpha$$

Donde 'C_t' es un coeficiente del tipo de estructura en el área de estudio, h es la altura de la estructura, en caso de edificaciones de 'n' pisos. Estos valores para el muelle de la casa de prácticos corresponden a 0.055 y 0.9 respectivamente, al ser una estructura de hormigón sin muros estructurales ni diagonales rigidizadoras.

CAPÍTULO 3

3. METODOLOGÍA

Se realizó el diagnóstico estructural del muelle de prácticos mediante el uso del modelo computacional SAP2000, previo a la propuesta de una solución ingenieril al deterioro del muelle. Esto debido a la limitación de información, y cumpliendo con la Norma Ecuatoriana de construcción (NEC) de Riesgo sísmico, Diseño Sísmico y la Guía de Evaluación y Rehabilitación para estructuras existentes. SAP2000 está basado en el método de elementos finitos (FEM), de manera que se analizan de forma simultánea el tipo de material, diferentes geometrías y efectos locales en diferentes áreas del muelle.

Con el fin de llevar una metodología investigativa y analítica, se hizo una revisión bibliográfica de los informes de inspección y reparaciones a lo largo de los últimos años de los elementos del muelle. Además, se relevó el muelle de la casa de prácticos tanto en Revit como en SAP2000, en base a los planos estructurales que contienen la información técnica de los elementos del muelle y su dimensionamiento.

El análisis del modelo fue lineal dinámico, conforme a lo que establece la norma de rehabilitación ecuatoriana para estructuras existentes. (Norma Ecuatoriana de la Construcción, 2015) Para esto se ingresó las combinaciones de cargas, secciones y materiales, y se comprobó tanto las fuerzas internas admisibles como las derivas del sistema ante un modelo de espectro de respuesta.

3.1 Informes de inspección y reparaciones

El estado actual del muelle ha sido el resultado de daños y reparaciones que han ocurrido en la estructura desde su construcción, muchos de estos daños han sido reportados a lo largo del tiempo y se han tomado acciones de reparación para algunos de ellos, para mitigar sus efectos a corto o a largo plazo. Sin embargo, aún es evidente el desfavorable estado en el que se encuentran muchos de sus elementos.

(Alvarez B., 2017) reportó fisuras superficiales y desprendimiento de hormigón en las vigas longitudinales, vigas transversales y pilotes, lo que lo atribuyó a los sulfatos y cloruros que se encuentran en las aguas de las zonas costeras. Además, documentó la

corrosión que sufren los elementos de acero que forman parte del refuerzo de los elementos estructurales del muelle fijo, la escala móvil y el muelle flotante.

Las duelas o tablones de madera que forman parte del sobre piso de la pasarela también se encuentran en mal estado debido a acciones climáticas.

Por otro lado, las tuberías de los sistemas de abastecimiento de agua y combustible también se encuentran en un mal estado, poniendo en riesgo el ecosistema marino-costero en el que se encuentra el muelle ante una eventual contaminación por fuga de combustible.

En la Figura 3.1 se muestran los porcentajes de reportes de daños presentados por componentes del muelle. Es evidente que los daños en las líneas de amarre y en la estructura del muelle flotante son los que más se presentan usualmente.

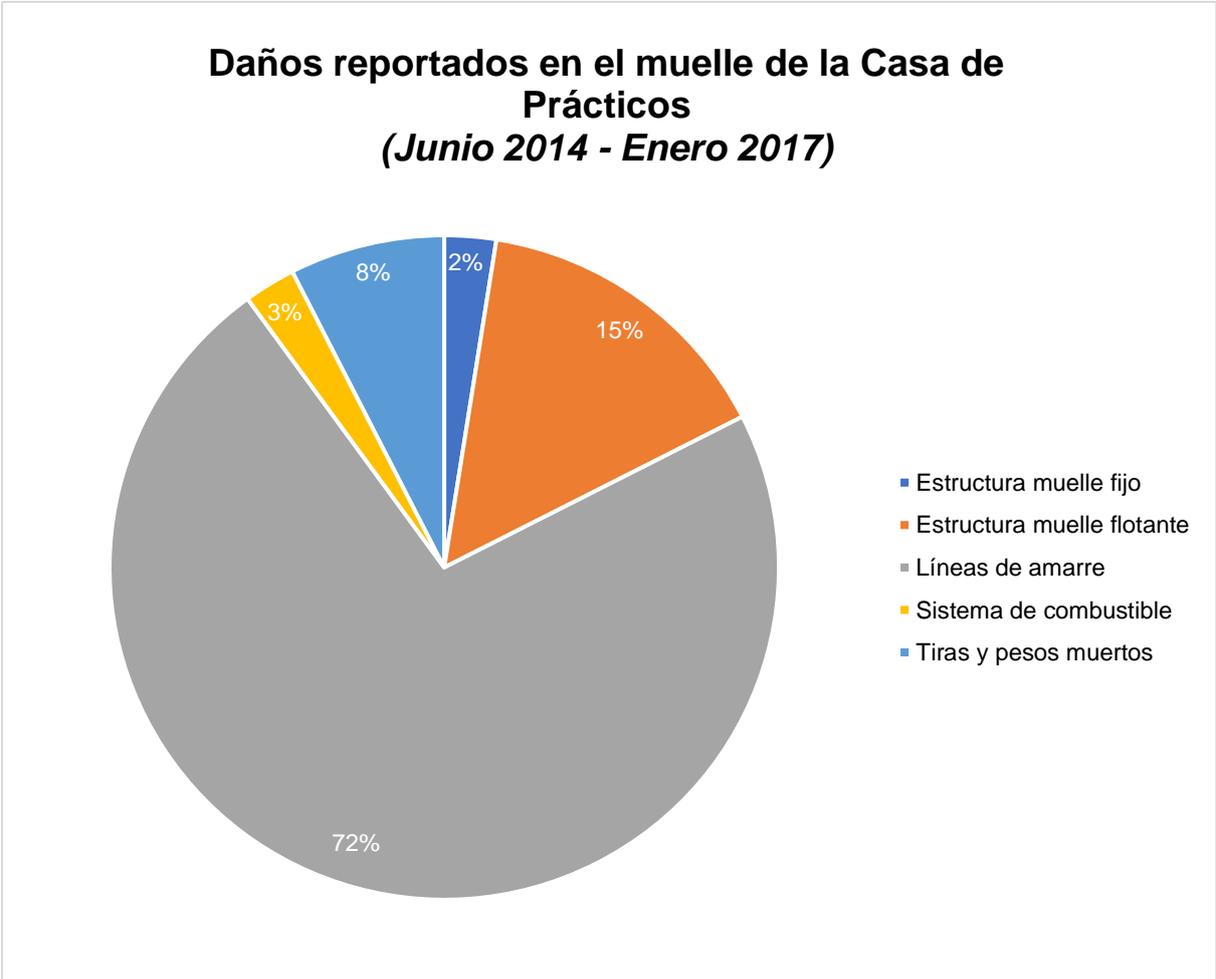


Figura 3.1 *Daños reportados por componentes del muelle desde el 19 de junio del 2014 hasta el 13 de febrero del 2017. Datos obtenidos de (Alvarez B., 2017)*

3.1.1 Inspección visual en campo del muelle de prácticos

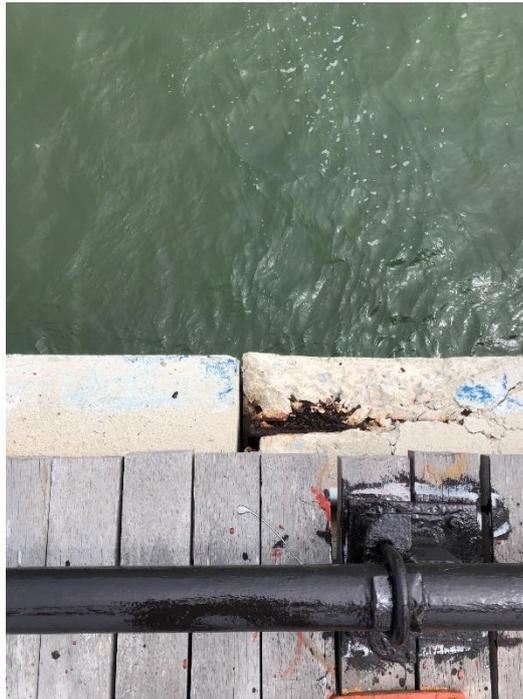


Figura 3.2 Separación entre tramos del muelle de prácticos en sitio. (Autores, 2020)

El día de 8 de julio del 2020 se realizó una visita de reconocimiento autorizada al muelle de la Casa de Prácticos en compañía de un trabajador de la Dirección Técnica de APG y trabajadores permanentes de la Casa de Prácticos. Durante la visita destacaron las siguientes observaciones obtenidas de manera visual y por relatos de los trabajadores.

Observaciones:

Muelle fijo

- Los espacios entre los tramos del muelle fijo que se muestran en los planos no se evidencian en la estructura física del muelle. Según nuestros cálculos, los espacios deberían de medir aproximadamente 40 cm. Sin embargo, estos espacios no son visibles en las posiciones en las que deberían de estar. Tan solo se muestra una división de las vigas.
- Las últimas dos filas de pilotes están unidas por una segunda viga longitudinal y transversal entre ellas, estas vigas no se muestran en los planos obtenidos del muelle. Además, un trabajador del muelle desde hace muchos años nos comentó que estos últimos pilotes habían sido recientemente construidos.

- Las vigas transversales y longitudinales tienen fisuras, el hormigón se está desmenuzando, y en algunas vigas el acero de refuerzo está expuesto a la intemperie.
- En la penúltima fila de pilotes (pilotes 61 y 62) se encuentra una escalera metálica al lado de cada pilote. Estas escaleras sirven para que los prácticos se puedan embarcar en las lanchas cuando el muelle flotante no está disponible por daños.
- Existen pequeñas fugas de diésel en las uniones de las tuberías del sistema de combustible. Las tuberías fueron reemplazadas hace aproximadamente un mes.
- Un trabajador nos comentó que en un evento de oleaje extremo alcanzó a levantar las duelas del muelle fijo.

Muelle flotante

- El muelle se mantiene en su ubicación ya que cuenta con dos cabos (o líneas) de amarre en cada esquina del muelle que lo sujetan a pesos muertos ubicados en el fondo.
- El muelle se encuentra muy deteriorado. Existe un gran contraste entre la imagen del muelle actual con una de la última reparación reportada en el 2014.
- Trabajadores de la casa de prácticos nos informaron que el muelle flotante es el que más daños presenta usualmente. El daño más frecuente es el desprendimiento de las vigas de amarre.
- La escala móvil no está en contacto permanente con el muelle flotante. Existe una altura de diferencia variable entre estas dos partes del muelle. Esta desconexión de la escala y el muelle flotante podría resultar peligrosa para la integridad de los prácticos.
- El muelle posee llantas de vehículos que funcionan como defensas.

Muro de escollera

- Muchas rocas se han desprendido del muro. En un tramo del muro se ha desprendido gran parte de la capa externa de rocas, permitiendo ver el geotextil rasgado y las rocas de la capa intermedia.
- Según un trabajador de la casa, el muro fue construido después del muelle fijo. Hace aproximadamente 20 años.

Entorno físico

- El agua del mar se mostraba color verde, los trabajadores nos informaron que era algo habitual en la zona.
- Durante la inspección el oleaje no se mostró calmado. Las olas no eran de gran altura.
- Se evidenció el paso de una corriente paralela a la costa que llevaba restos de hojas de arbustos. Se presumía que provenía de la desembocadura de un río cercano.

Observaciones generales

- La frecuencia con la que se brinda el servicio de practicaje a disminuido debido a la pandemia.
- Según un trabajador de la casa de prácticos, no se presentaron daños relevantes después del terremoto del 16 de abril del 2016.
- Solo existen dos lanchas disponibles para los prácticos.

3.2 Información técnica de elementos estructurales

El muelle de prácticos está compuesto de los siguientes elementos estructurales:

Vigas transversales

La estructura comprende de dos tipos de vigas transversales: tipo A y tipo C. Ambas son prefabricadas de hormigón de sección transversal cuadrada, con dimensiones de 0.3x0.3 m² para las vigas de volado tipo A, y dimensiones de 0.5x0.5 m² para las vigas tipo C. La resistencia del acero de refuerzo de las barras es de 4200 kg/cm² en las vigas tipo A, que se encuentran en los voladizos. Para las vigas en voladizo se tuvo una resistencia de 350 kg/cm². Estas se ubicaron en los ejes 'y' del modelo (eje en el sentido del ancho del muelle).

Vigas longitudinales

Estas vigas se ubicaron en el sentido longitudinal del muelle, en el eje 'x' del modelo en Sap2000. Se dibujó dos tipos de vigas: B y D. La sección B-B tiene como dimensiones 0.4x0.5 m², y la sección D-D tiene una altura variable, debido a que se ubica solo en los voladizos de cada tramo del muelle (ver Anexos), con un ancho fijo de 0.40 m².

Pilotes

También consideradas columnas de hormigón armado soportan las cargas del muelle. Tienen una sección transversal de 0.4x0.4 m². Sus longitudes varían dependiendo de la profundidad en la que se encuentre el muelle.

Duelas

El sobre piso o tablonés de madera estructural tipo B se definieron con un espesor de 0.1 m, color oscuras hechas en general de chanul o laurel. La información técnica de sus propiedades se obtuvo de la norma para estructuras de madera. (Norma Ecuatoriana de la Construcción, 2016)

Cuartones

La información técnica de los cuartones fue obtenida de (Norma Ecuatoriana de la Construcción, 2016), considerando que los cuartones están conformados de madera estructural *Tipo B*.

Tabla 3.1 Información técnica de los cuartones

Propiedad	Valor	Unidades
Densidad	9.8	kN/m ³
Módulo de elasticidad E	7500	MPa
Módulo de Poisson	0.3	adimensional

3.3 Análisis estructural del muelle

3.3.1 Cargas actuantes

3.3.1.1 Carga muerta

La carga muerta corresponde al peso propio de la estructura. Esta carga está conformada por la sumatoria de los pesos de todos los elementos estructurales que actúan en permanencia sobre la estructura. (Norma Ecuatoriana de la Construcción, 2014)

En el muelle de la casa de prácticos, la carga muerta representa el peso total de los elementos estructurales: pilotes, vigas longitudinales y vigas transversales; y no estructurales: duelas, sistema eléctrico, pasamanos y tuberías.

Tabla 3.2 Valores de cargas muertas consideradas para el diseño (Autores, 2020)

	Elementos	Peso específico	Peso total (Tonf)
Estructurales	Vigas transversales	2.4 Ton/m ³	23.79
	Vigas longitudinales	2.4 Ton/m ³	47.57
	Pilotes	2.4 Ton/m ³	61.13
	Vigas en voladizos	2.4 Ton/m ³	5.02
	Cuartones	1 Ton/m ³	0.15
No estructurales	Duelas	1 Ton/m ³	5.39
	Tuberías	7.09 kg/m	0.39
	Pasamanos	2.54 kg/m	0.28
	Sistema eléctrico	2.54 kg/m	0.14

Las cargas de tuberías, pasamanos y sistemas eléctricos fueron calculadas con los valores de acero (Norma Ecuatoriana de la Construcción, 2014), y hierro galvanizado y las dimensiones que tendrían a lo largo del muelle, con un diámetro exterior de 2 pulgadas, y un espesor de 0.5 pulgadas. El valor del sistema eléctrico no incluye el peso de las luminarias, más solo el de los tubos galvanizados. Estos tres últimos valores de la tabla serán considerados como carga de 'Instalaciones' en el programa Sap2000.

3.3.1.2 Carga viva

La carga viva que se ha utilizado en el modelo es de 1.0 Ton/m², este corresponde a la sobrecarga normal de muelles y puentes de acceso según (Dirección de Obras Portuarias) y (Llorca, José; González, José; Ametller, Sergi, 2012).

3.3.1.3 Carga de atraque

Para el cálculo de la carga de atraque se hace uso de la siguiente ecuación

$$E_c = \frac{(W_1 + W_2)v^2}{2g}$$

En donde:

- W1 se considera 1.33 del tonelaje de peso muerto del buque
- $W_2 = PLH^2\pi/4$
- v: velocidad de atraque del buque
- P: peso específico del agua (1,00 T/m³)
- L: eslora del buque
- H: calado del buque a plena carga

Las embarcaciones en las que se realiza el servicio de practica poseen las siguientes características

Tabla 3.3 Datos técnicos de las lanchas de practica

Embarcación de pilotaje	Cantidad	Unidad
Eslora total	12.6	m
Calado a plena carga	0.7	m
Tonelaje de peso muerto	22.9	Ton

Además, se consideró la velocidad de ataque como la velocidad máxima de la corriente en la zona de estudio, ya que las embarcaciones atracan con los motores apagados. La magnitud de la corriente utilizada en la zona de estudio es de 0.21 m/s.

Reemplazando los datos y calculando, la energía de ataque dio como resultado

$$E_C = 0.086 \text{ Ton. m}$$

Asumiendo unas defensas que absorben el 50% de la energía de ataque.

$$E_{C-50\%} = 0.043 \text{ Ton. m}$$

3.3.1.4 Cargas sísmicas

- Tipo de suelo

La zona identificada para el área de estudio se consideró una zona de riesgo sísmico muy alto nivel VI, es decir con un factor $Z \geq 0.5$. (Norma Ecuatoriana de Construcción, 2015) Este valor se usó de referencia para obtener los parámetros de entrada a la función de espectro de respuesta que se utilizó en el análisis lineal dinámico, en conjunto al valor del tipo de suelo C. La tabla 3 de la NEC de Diseño Sísmico, se tiene que el valor de F_a (coeficiente de amplificación de suelo en la zona de periodo corto) fue 1.18. El valor para F_d (amplificación de las ordenadas del espectro elástico de respuesta de desplazamientos para diseño en roca) tuvo un valor de 1.06. El comportamiento no lineal de los suelos o F_s , se tomó como un valor de 1.23. Como se mencionó en la sección 2.1.3.3 del documento. Y dado que la zona de estudio se encuentra vía Data Posorja, se estableció como zona costera, y por ende su razón de aceleración espectral es $\eta=1.80$. (Norma Ecuatoriana de Construcción, 2015)

El modelo considera la sección del muelle de pasarela de hormigón, del muelle de la casa de prácticos. Esta estructura es considerada no esencial ni de ocupación especial (ver *Figura 3.3*) según la clasificación dada por NEC-SE-DS 2015, por lo que se toma un coeficiente de 1.0 (otras estructuras).

Tipo de uso, destino e importancia de la estructura.		
Categoría	Tipo de uso, destino e importancia	Coefficiente I
Edificaciones esenciales y/o peligrosas	Hospitales, clínicas, Centros de Salud o de emergencia sanitaria. Instalaciones militares, de policía, bomberos, defensa civil. Garajes o estacionamientos para vehículos y aviones que atienden emergencias. Torres de control aéreo. Estructuras de centros de telecomunicaciones y otros centros de atención de emergencias. Estructuras que albergan equipo de generación y distribución eléctrica. Tanques u otras estructuras utilizadas para depósito de agua u otras sustancias anti-incendio. Estructuras que albergan depósitos tóxicos, explosivos, químicos u otras sustancias peligrosas.	1,5
Estructuras de ocupación especial	Museos, iglesias, escuelas y centros de educación o deportivos que albergan más de trescientas personas. Todas las estructuras que albergan más de cinco mil personas. Edificios públicos que requieren operar continuamente.	1,3
Otras estructuras	Todas las estructuras de edificación y otras que no clasifican dentro de las categorías anteriores.	1,0

Figura 3.3 Valores del Coeficiente de importancia según el uso y categoría de la estructura. (Norma Ecuatoriana de Construcción, 2015)

Valores del coeficiente de reducción de respuesta estructural (R)	
Reservorios y depósitos, incluidos tanques y esferas presurizadas, soportados mediante columnas o soportes arriostrados o no arriostrados.	2
Silos de hormigón fundido en sitio y chimeneas que poseen paredes continuas desde la cimentación.	3,5
Estructuras tipo cantiléver tales como chimeneas, silos y depósitos apoyados en sus bordes	3
Naves industriales con perfiles de acero	3
Torres en armadura (auto-portantes o atirantadas)	3
Estructuras en forma de péndulo invertido	2
Torres de enfriamiento	3,5
Depósitos elevados soportados por una pila o por apoyos no arriostrados	3
Letreros y carteleras	3,5
Estructuras para vallas publicitarias y monumentos	2
Otras estructuras no descritas en este documento	2

Figura 3.4 Valores del coeficiente de reducción para el espectro de respuesta, según el tipo de estructura. (Norma Ecuatoriana de Construcción, 2015)

En cuanto a la reducción de fuerza sísmica, el valor R dado por la NEC según el tipo de estructura como se ve en la *Figura 3.4*, se aplicó al asumir una estructura con un mecanismo de falla previsible dúctil. Es decir que existirán secciones de la estructura

que se consideren con un comportamiento similar al de las rótulas plásticas. El modelo considera un valor de $R=2$.

3.3.2 Combinaciones de cargas

Según la (Norma Ecuatoriana de la Construcción, 2015), en la “Guía de Riesgo Sísmico, Evaluación, Rehabilitación de Estructuras”, las combinaciones de carga empleadas para trabajos de rehabilitación solo emplean las acciones gravitacionales y sísmicas, a diferencia de las combinaciones de carga de diseño. Estas combinaciones son:

$$1.1(D + 0.25L) + E$$

$$0.9(D + 0.25L) + E$$

En donde D es la carga muerta total de la estructura, L es la carga viva o sobrecarga y E representa a las fuerzas sísmicas. Se utilizará la combinación que genere un mayor efecto en la estructura (Norma Ecuatoriana de la Construcción, 2015).

3.4 Modelamiento computacional

3.4.1 Variables de entrada

3.4.1.1 ELEMENTOS ESTRUCTURALES

Tabla 3.4 Propiedades de los elementos estructurales (Autores, 2020)

Vigas Longitudinales	
$f'c= 350 \text{ kg/cm}^2$ $f_y=4200 \text{ kg/cm}^2$ Tipo B: $b= 40 \text{ cm}$ $h= 50 \text{ cm}$ $r=1 \text{ cm}$	Acero Viga B: <ul style="list-style-type: none"> - Fila superior: 2 $\Phi 3/4''$ esquinas, 2 $\Phi 5/8''$ centro - Fila inferior: 4 $\Phi 3/4''$ Estribos: $\Phi 3/8'' @ 15 \text{ cm}$
Vigas Transversales	
$f'c= 350 \text{ kg/cm}^2$ $f_y=4200 \text{ kg/cm}^2$ Tipo C: $b= 50 \text{ cm}$ $h= 50 \text{ cm}$ $r= 1 \text{ cm}$	Acero en viga C: <ul style="list-style-type: none"> - Fila superior: 2 $\Phi 3/4''$ esquinas, 2 $\Phi 5/8''$ centro - Fila inferior: 4 $\Phi 3/4''$ - Estribos: $\Phi 3/8'' @ 15 \text{ cm}$
Vigas en Voladizo – Longitudinal	
$f'c= 350 \text{ kg/cm}^2$ $f_y=4200 \text{ kg/cm}^2$ Tipo D $b=40 \text{ cm}$ $h=\text{variable}$ $r=1 \text{ cm}$	Acero Viga D: <ul style="list-style-type: none"> - Fila superior : 5$\Phi 3/4''$ - Fila inferior: 2$\Phi 5/8''$, 1 $\Phi 3/4''$ - Estribos: $\Phi 3/8'' @ 15 \text{ cm}$ - Chaflan: 0.025x0.025
Vigas en Voladizo - Transversal	
$f'c= 350 \text{ kg/cm}^2$ $f_y=4200 \text{ kg/cm}^2$ Tipo A: $b= 30 \text{ cm}$ $h=30 \text{ cm}$ $r= 1 \text{ cm}$	Acero viga A: <ul style="list-style-type: none"> - Fila superior: 3 $\Phi 5/8''$ - Fila inferior: 3 $\Phi 3/8''$ - Estribo: $\Phi 3/8'' @ 15 \text{ cm}$
Pilotes	
$f'c= 350 \text{ kg/cm}^2$ $f_y=4200 \text{ kg/cm}^2$ Sección transversal: $b= 40 \text{ cm}$ $h=40 \text{ cm}$ $r= 1 \text{ cm}$ - Longitud del pilote variable	Acero en columnas: <ul style="list-style-type: none"> - Estribos: $\Phi 1/4'' @ 15 \text{ cm}$ por 1.20 m, $\Phi 1/4'' @ 14 \text{ cm}$ por 1 metro, $\Phi 1/4'' @ 15 \text{ cm}$ el resto de la columna.
Duelas	
Peso: 1 Ton/m^3 Módulo de Elasticidad: 764787.2 Ton/m^2	Espesor de membrana: 0.3 m Área: variable por segmento de tramo

Cuartones	
Peso: 1 Ton/m ³ Módulo de Elasticidad: 764787.2 Ton/m ²	Área transversal: 0.1x0.1 m Longitud: variable por segmento de tramo

3.4.1.2 CARGAS ACTUANTES

Tabla 3.5 Resumen de cargas actuantes en el modelo computacional sobre la estructura. (Autores, 2020)

Cargas y Fuerzas en el muelle de prácticos	
Carga Muerta (Tonf/m ²)	338.11
Carga Viva (Tonf/m ²)	1.0
Carga Sísmica	

3.4.1.3 FUNCIÓN DE ESPECTRO DE RESPUESTA Y CORTANTE BASAL

Tabla 3.6 Parámetros del espectro de respuesta (Autores, 2020)

ESPECTRO DE RESPUESTA	
Factor Z	0.5
Tipo de Suelo	C
n	1.8
Fa	1.18
Fd	1.06
Fs	1.23
I	1
R	2
Ct	0.055
alfa	0.9
hn	Tramo 1= 4.16; Tramo 2= 7.30; Tramo 3= 9.87
T	Tramo 1= 0.19; Tramo= 0.29; Tramo= 0.53
Excentricidad	0.05
Amortiguamiento	0.05

3.4.2 Procedimiento de modelamiento computacional en SAP2000

1) Definición de ejes, grilla y sistema de unidades

En la ventana principal, se añadió una grilla con un pórtico 3D en un nuevo proyecto y se definió las dimensiones en los ejes 'x', 'y' y 'z'. Las unidades de trabajo se establecieron como Tonf, m, C. Las dimensiones de las ordenadas o espaciados para el eje 'x' determinaron los tramos longitudinales del muelle, para el eje 'y' el ancho del muelle y sus elementos, mientras que para 'z' definió respectivamente las longitudes de cada pilote. Este paso se replicó para cada tramo del muelle.

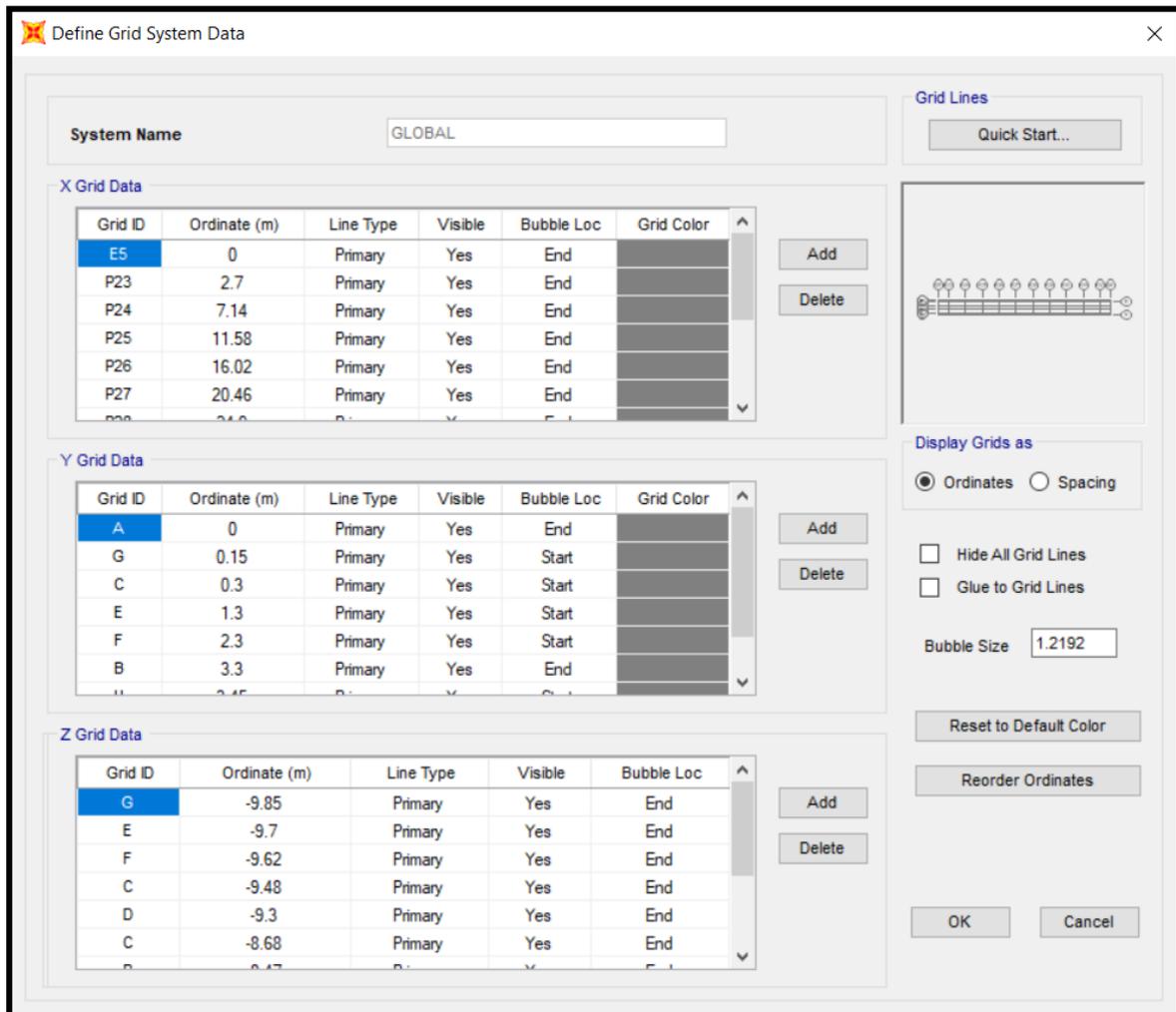


Figura 3.5 Ordenadas de las grillas del espacio de trabajo para el diagnóstico. (Autores, 2020)

2) Dibujo de elementos estructurales

Se dibujó los elementos tipo 'frame' en cada espacio de grilla (pilotes o columnas, vigas, cuartones), conforme a sus dimensiones en el plano estructural del muelle existente, mediante el menú 'Draw'. Cada elemento debe tener un nodo en común con otro elemento de la estructura. Para las vigas se realizó por medio del menú 'Assign Frame', opción 'Insertion Point', una reubicación del elemento de 'Top to Center'. Del mismo modo se localizaron los cuartones de 'Bottom to Center'. Respecto a las áreas de cada segmento, con el uso de Quick Draw se crearon secciones de áreas tipo Shell- membrana simulando la carga muerta de las duelas. Por último se asignaron en los nodos inferiores de las columnas los apoyos (Restraint Joint) empotrados de la estructura.

3) Definición y asignación de propiedades de materiales y secciones

Se definen los materiales tanto para las secciones 'frame' y las secciones de 'área'. Para vigas y columnas el material creado es el concreto y el acero de refuerzo. Para los cuartones y duelas se creó el material 'madera'. Luego se definieron las secciones, de concreto y 'otros', para cada elemento; esto con sus propiedades de material y dimensiones respectivas. Una vez que se creó estas secciones, se asignó cada sección a cada elemento dibujado en el anterior paso.

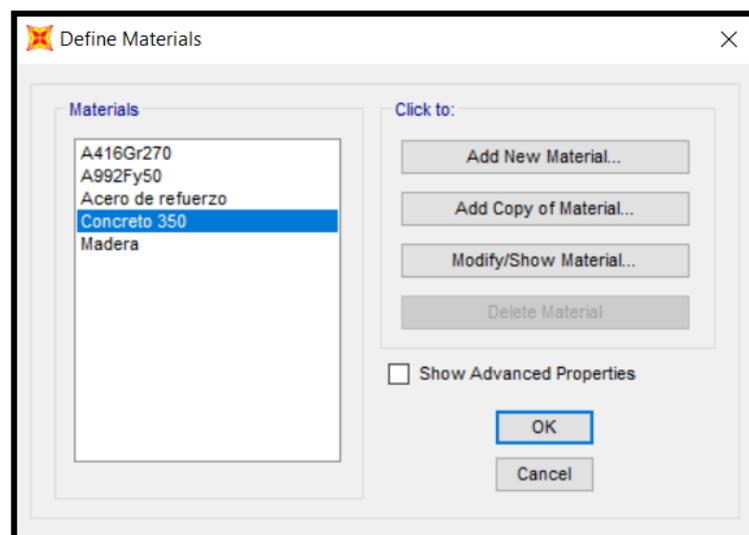


Figura 3.6 Materiales para las secciones estructurales en SAP 2000. (Autores, 2020)

En las propiedades de las secciones de vigas y columnas, se especificó que sus inercias cumplen con las inercias de agrietamiento (0,5 y 0,8 respectivamente) indicadas en la NEC de Diseño Sísmico 6.1.6.

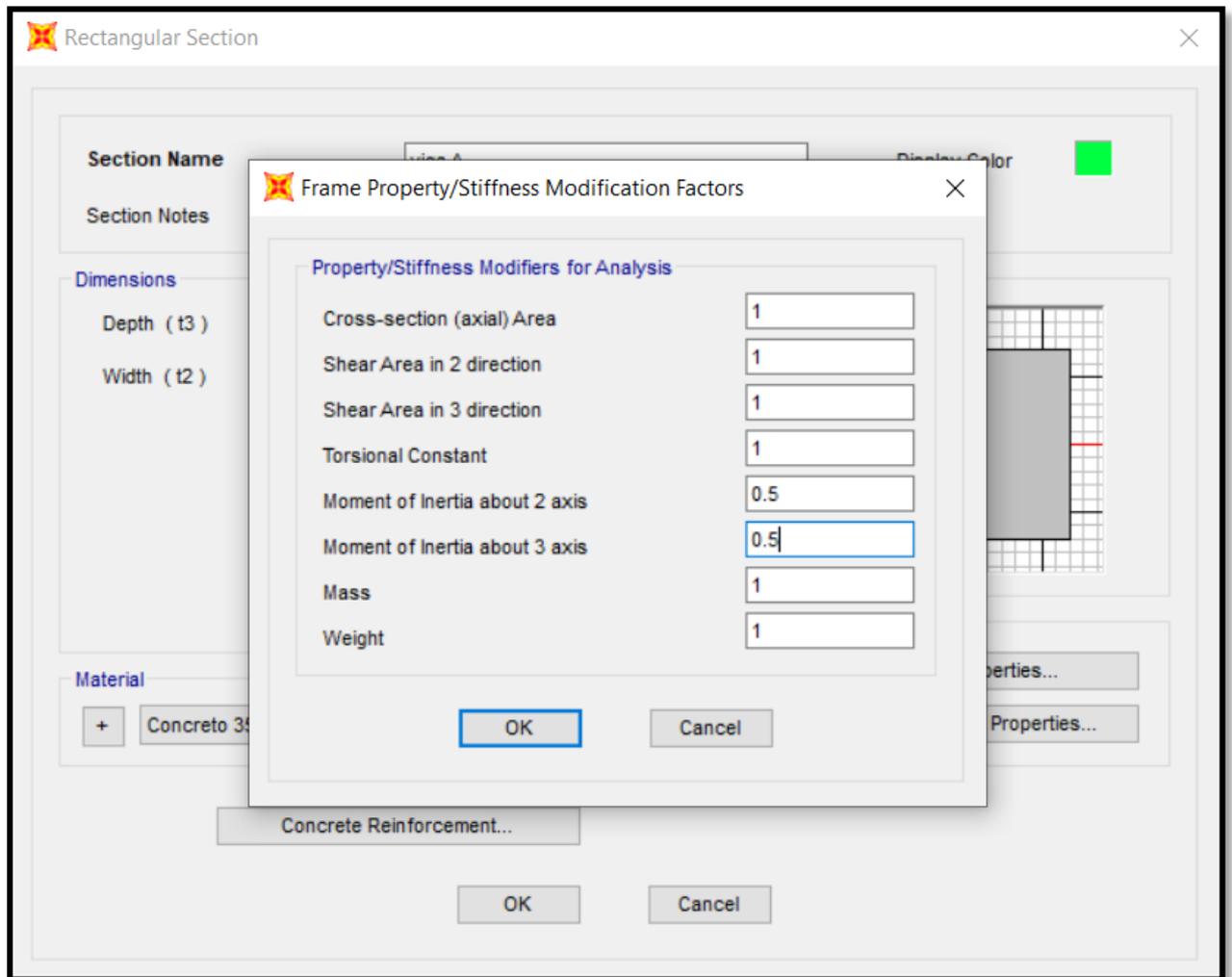


Figura 3.7 Propiedades de las columnas o pilotes del muelle en SAP2000. (Autores, 2020).

4) Ingreso de patrones de carga

Se consideró las cargas muertas propias del muelle y sus instalaciones, carga viva, y cargas sísmicas estáticas. La carga viva se asigna a la sección de área creada para las duelas, tipo uniforme en el Shell-membrana, como carga gravitatoria de valor 1 Ton/m².

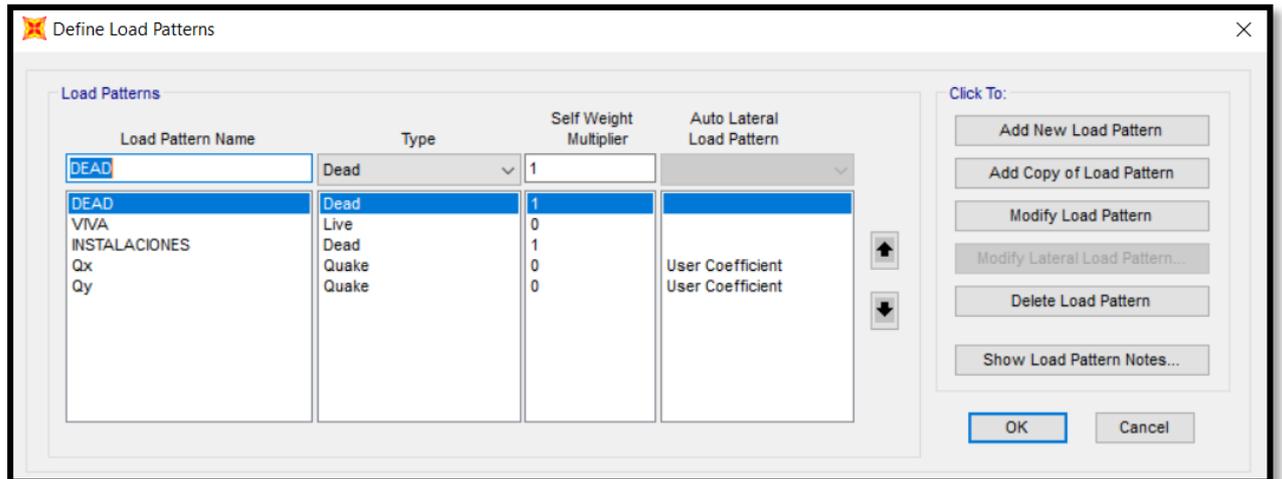


Figura 3.8 Patrones de carga del modelo en SAP 2000. (Autores, 2020)

5) Definición de función de espectro

La función de espectro se definió en base a la NEC-SE-DS 2015. Esta nueva función cumplió con los parámetros acordes a una zona de riesgo sísmico tipo VI, suelo tipo C, un factor de reducción 2 y un factor de importancia de 1 considerando una estructura normal.

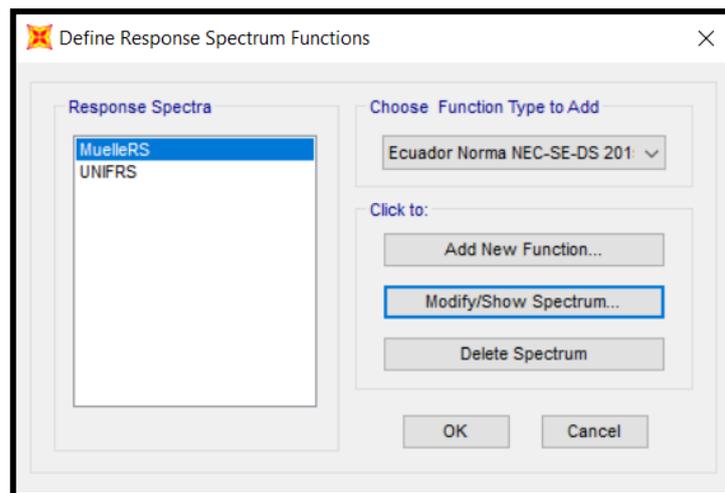


Figura 3.9 Función del Espectro de Respuesta para el modelo en SAP 2000. (Autores, 2020)

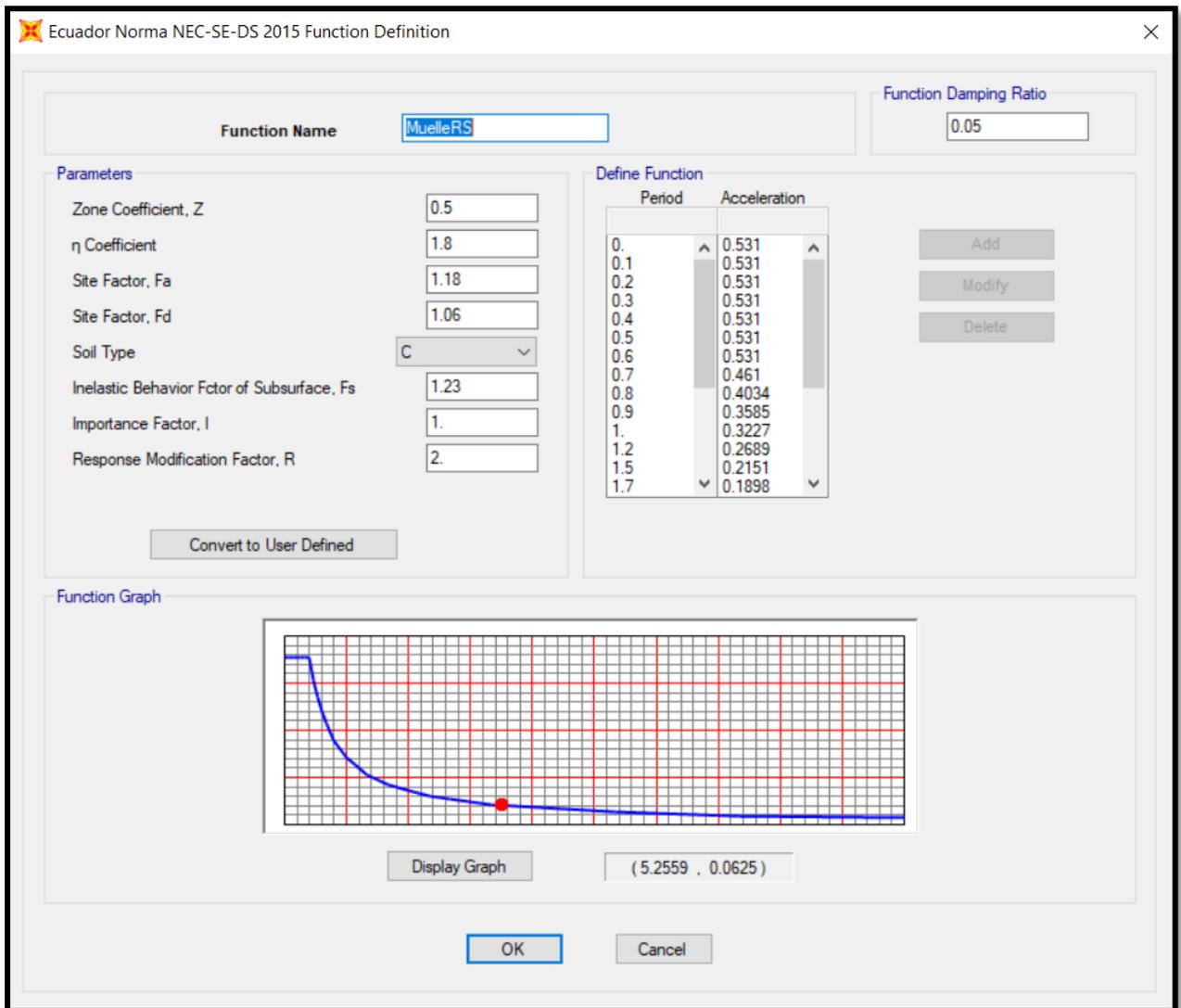


Figura 3.10 Parámetros de la función del Espectro de Respuesta “Muelle Rs”. (Autores, 2020)

6) Creación de los casos de carga

Se definió el caso de carga Dinámico, dependiente de la función de Espectro de Respuesta creada en el paso anterior. De manera predeterminada se tuvo los casos para carga muerta, viva, sísmicas estáticos, y modal. Sin embargo, en el caso Modal se modificó el número máximo de modos acorde a la de la estructura.

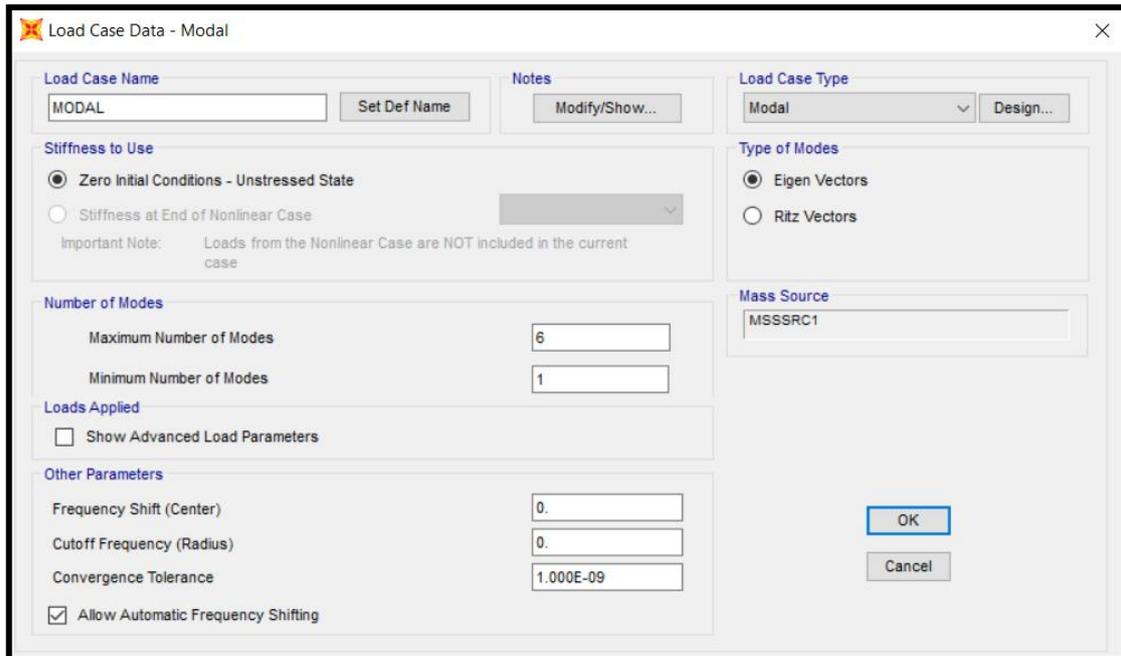


Figura 3.11 Caso de Carga Modal para el análisis estático del modelo. (Autores, 2020)

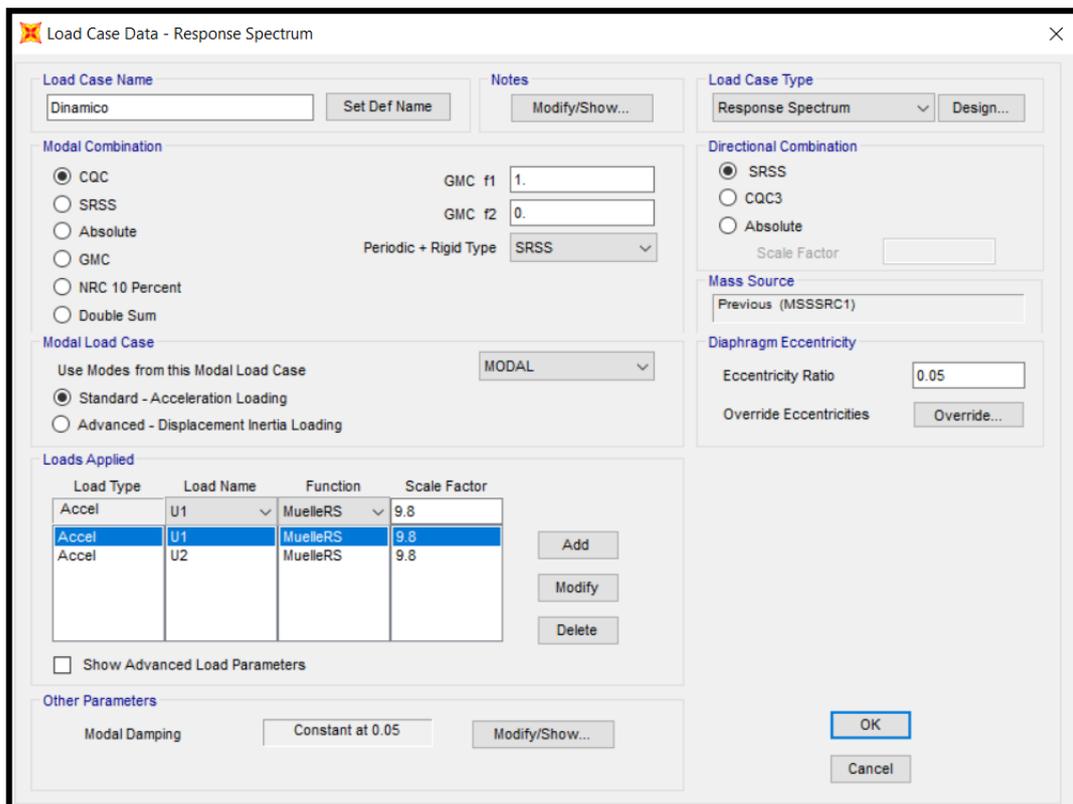


Figura 3.12 Parámetros del caso de Carga del espectro de respuesta "Dinámico". (Autores, 2020).

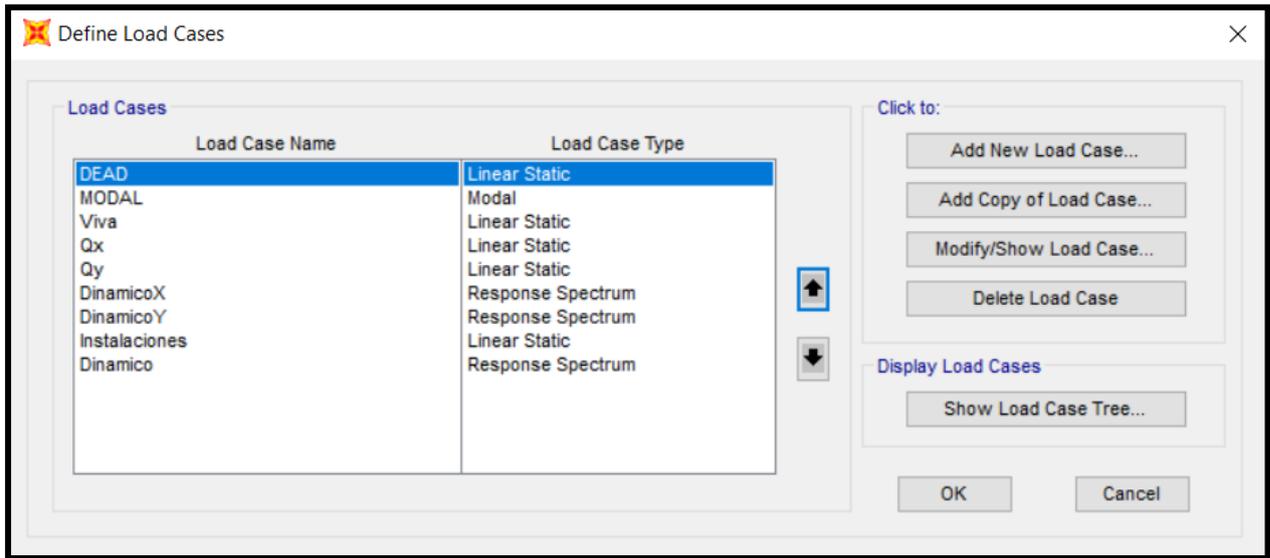


Figura 3.13 Casos de carga considerados en el modelo en SAP 2000. (Autores, 2020).

7) Definir combinaciones de carga

Según el capítulo de Rehabilitación de estructuras (Norma Ecuatoriana de la Construcción, 2015) se definió 2 combinaciones de carga, usando los patrones de carga definidos con anterioridad.

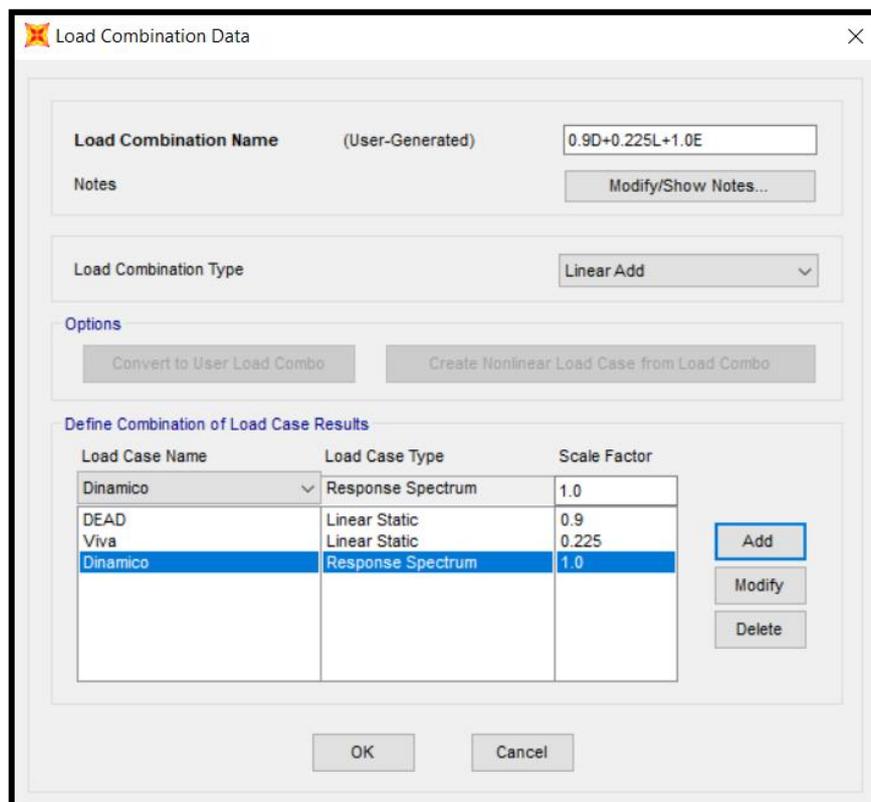


Figura 3.14 Combinaciones de carga respect a la NEC, del modelo en SAP 2000. (Autores, 2020)

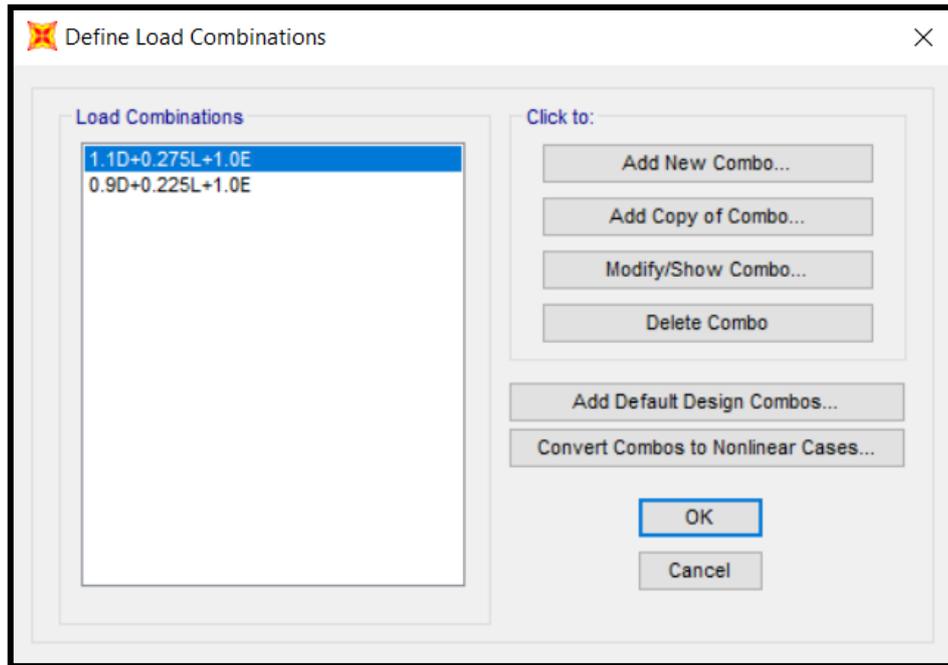


Figura 3.15 Combinaciones de carga del modelo en SAP 2000. (Autores, 2020).

8) Corrida del análisis y obtención de tabla de resultados

A partir de la opción 'Run Analysis', se corrió el análisis para todos los casos de carga creados. Se verificó que no existan errores en la corrida, y se mostró las tablas de análisis de resultados para desplazamientos del caso Dinámico (ver Figura 3.17). El desplazamiento en el nodo del pilote de mayor dimensión fue relacionado con la altura de este, y usando la fórmula de la norma de construcción para Diseño sísmico, se comprobó que la deriva no fuera mayor al 2%. Con respecto a los resultados de las fuerzas internas se mostró en pantalla los mismos para cada combinación de carga (Shear 2-2, Moment 3-3).

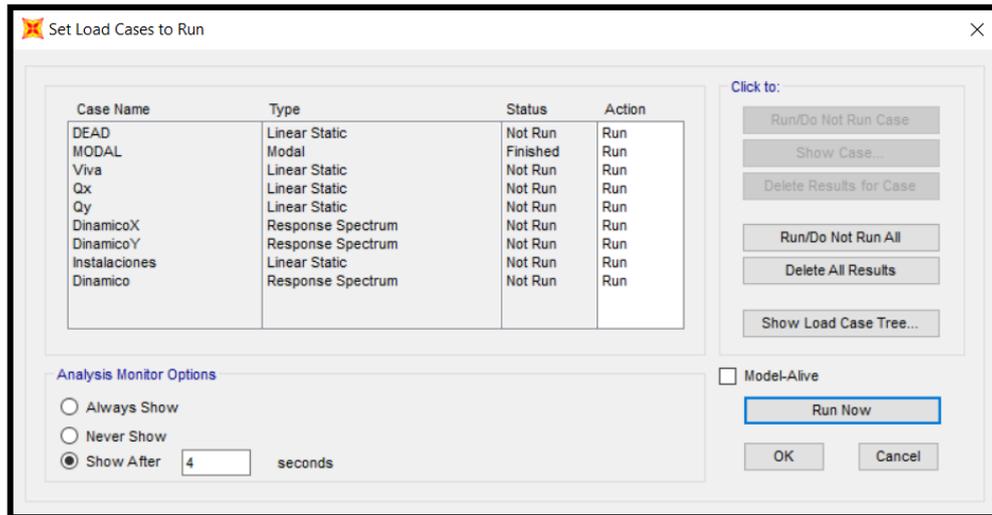


Figura 3.16 Corrida de los casos de carga en el modelo SAP 2000. (Autores, 2020)

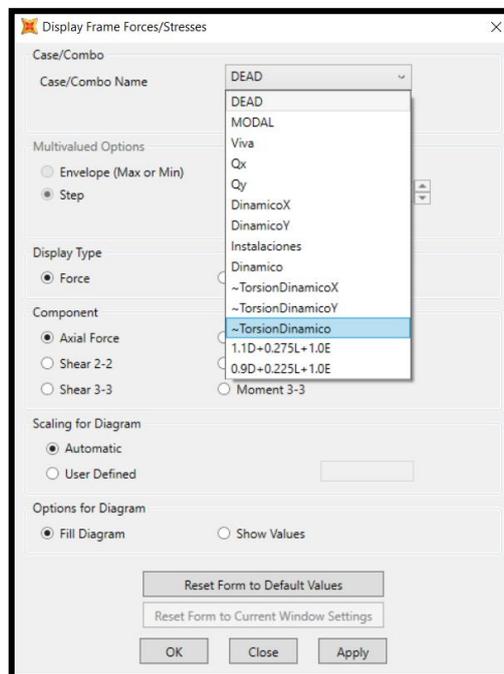


Figura 3.17 Presentación de los resultados de fuerzas internas por combinaciones de caso. Espectro de respuesta de interés en caso Dinámico. SAP2000. (Autores, 2020)

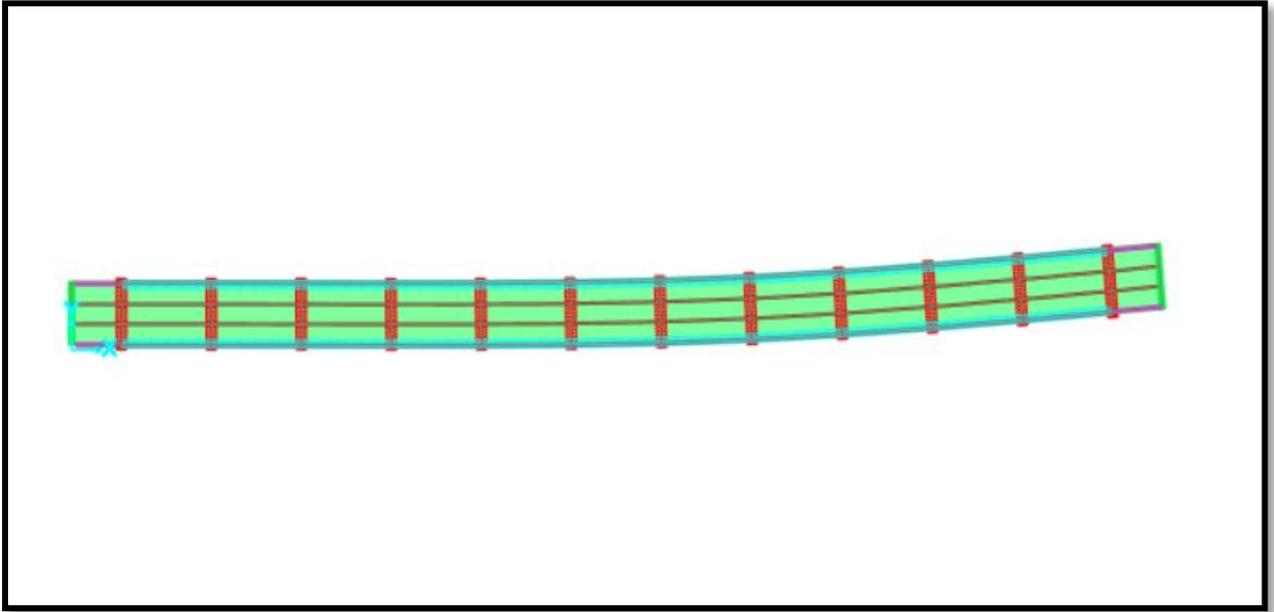


Figura 3.18 Deformada del tramo 1, modelo estructural en SAP2000, espectro de respuesta. (Autores, 2020)

CAPÍTULO 4

4. EVALUACIÓN ESTRUCTURAL DEL MUELLE Y PROPUESTA DE SOLUCIONES

4.1 Análisis de resultados del modelo

4.1.1 Derivas

Las derivas se consideraron como el desplazamiento inelástico del nodo superior de un pilote con respecto a su longitud. Según la NEC, esta se calculó como:

$$\Delta_M = \Delta_\varepsilon * 0.75 * R$$

Siendo Δ_ε la deriva elástica, dada por la relación entre el desplazamiento elástico del nodo, obtenido del modelo en SAP2000, y la longitud máxima de pilote. El factor de reducción R se tomó como un valor de 2 debido al tipo de estructura. (Norma Ecuatoriana de Construcción, 2015).

Tabla 4.1 Límites permisibles de derivas (Norma Ecuatoriana de Construcción, 2015)

Estructuras	Δ_M máxima (adimensional)
Hormigón armado, estructuras metálicas y de madera	0.02
De mampostería	0.01

La deriva permisible para nuestra estructura se consideró del 2%, conforme a la NEC-SE-DS de Diseño Sismo Resistente 2015. (Norma Ecuatoriana de Construcción, 2015)

- **Combinación 1: 1.1D+0.275L+E**

Tabla 4.2 Derivas y desplazamientos en los extremos de cada tramo, para la combinación 1 de cargas. (Autores, 2020)

Tramo	Nodo	Longitud del pilote	Desplazamientos elásticos	Desplazamientos inelásticos (cm)	Deriva elástica (%)	Deriva inelástica (%)
1	1	1.07	0.0005	0.075	0.05	0.07
	13	4.16	0.007	1.05	0.17	0.25
2	1	4.15	0.007	1.05	0.17	0.25
	69	7.26	0.0184	2.76	0.25	0.38
3	75	7.74	0.0381	5.715	0.49	0.74
	8	9.85	0.0608	9.12	0.62	0.93

Para los pilotes de mayores longitudes se presentan, en la Tabla 4.2, los desplazamientos, y por consiguiente las derivas máximas del COMBO 1, para cada tramo. Estas fueron admisibles dentro del 2%, donde se analizaron los resultados de desplazamientos que mostraba el SAP2000 para el análisis dinámico en la dirección Y (U2), puesto que este representaba un mayor valor para los tres tramos.

- **Combinación 1: 0.9D+0.225L+E**

Tabla 4.3 Derivas y desplazamientos en los extremos de cada tramo para la combinación 2 de cargas. (Autores, 2020)

Tramo	Nodo	Longitud del pilote	Desplazamientos elásticos	Desplazamientos inelásticos (cm)	Deriva elástica (%)	Deriva inelástica (%)
1	1	1.07	0.0005	0.075	0.05	0.07
	13	4.16	0.007	1.05	0.17	0.25
2	1	4.15	0.007	1.05	0.17	0.25
	69	7.26	0.0184	2.76	0.25	0.38
3	75	7.74	0.0381	5.715	0.49	0.74
	8	9.85	0.0608	9.12	0.62	0.93

Para la combinación 2 tuvimos resultados similares a los de la primera combinación, respecto a cada tramo de la estructura. La combinación 2 toma en cuenta el sismo en la dirección Y (U2) al igual que en la primera combinación. La máxima deriva se da en el tramo 3, siendo coherente a la longitud del pilote más alejado a la costa.

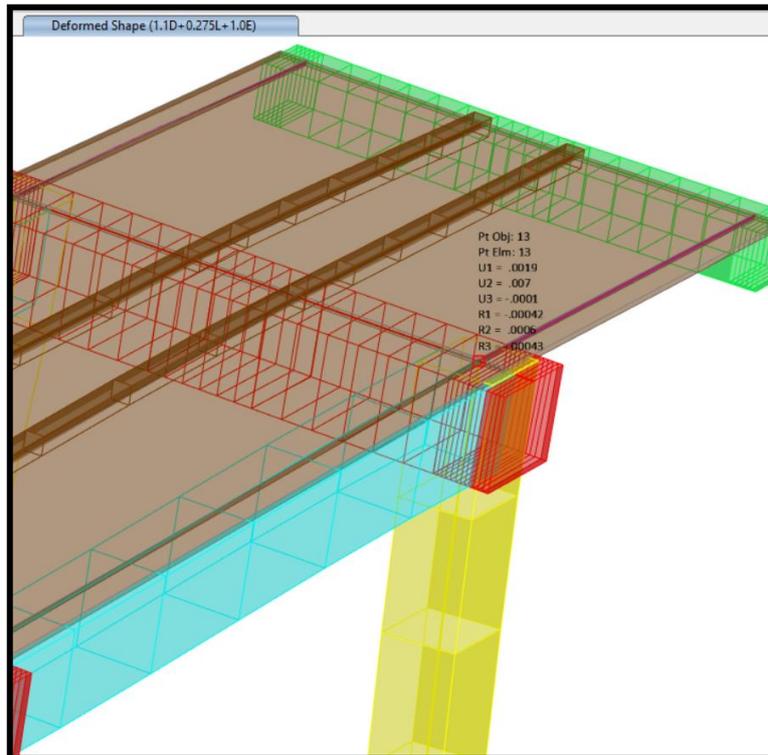


Figura 4.1 Deformada tramo 1, desplazamiento elástico máximo para el espectro de respuesta. Combinación de carga 1. SAP2000 (Autores, 2020)

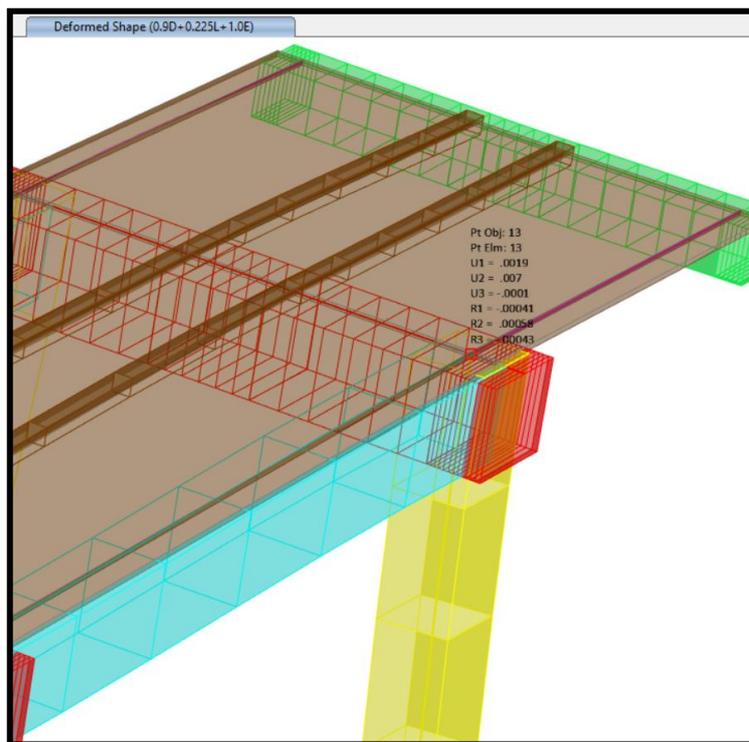


Figura 4.2 Deformada tramo 1, desplazamiento elástico máximo para el espectro de respuesta. Combinación de carga 2. SAP2000 (Autores, 2020)

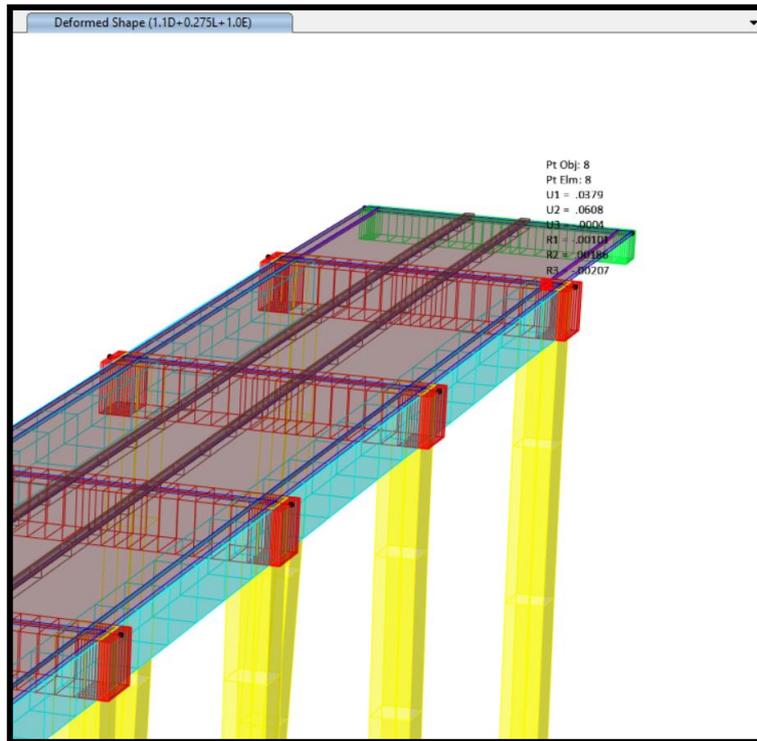


Figura 4.3 Deformada tramo 3, desplazamiento elástico máximo para el espectro de respuesta. Combinación de carga 1. SAP2000 (Autores, 2020)

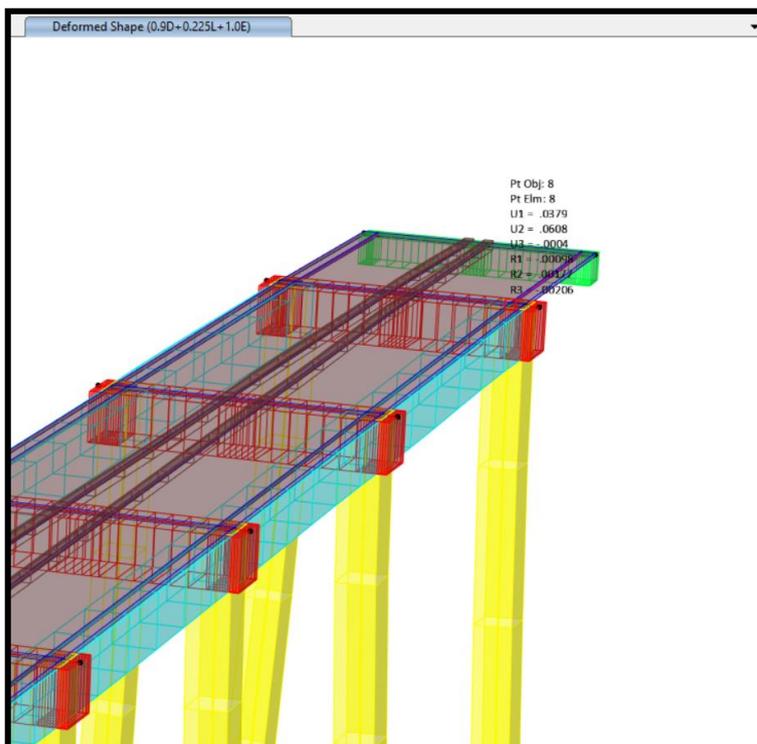


Figura 4.4 Deformada tramo 3, desplazamiento elástico máximo para el espectro de respuesta. Combinación de carga 2. SAP2000 (Autores, 2020)

En base a los valores presentados en la y la , se deduce que los mayores desplazamientos se deben a las derivas generadas entre los pilotes del tramo 2 y 3, con un valor de 6 cm en el eje Y, y 12 cm que se mueve en ambos sentidos . Ninguna de estas separaciones se cumple en las inspecciones visuales de los voladizos cercanos a las uniones de los tramos, como se observa en la Figura 3.2.

4.1.2 Fuerzas Internas

VIGAS

En la se muestran los resultados de las fuerzas internas obtenidas por el modelo (demanda) y las nominales (capacidad de diseño) para los tres tramos. Se obtuvieron los resultados para las dos combinaciones de carga, sin embargo, se muestran los resultados solo de la primera combinación puesto que es la que generaba mayor efecto sobre la estructura.

En la primera combinación la relación demanda/capacidad descrita en el ACI se cumple para los tres tramos. Los máximos cortantes y momentos del modelo se generan en el tramo 3, para las vigas transversales C más alejadas de la costa. Se puede interpretar que los elementos de la super estructura, con los datos de entrada establecidos, resisten las fuerzas internas causadas por las cargas impuestas en el modelo.

Tabla 4.4 Resultados de momentos y cortantes, de demanda y capacidad de diseño, para secciones de vigas. (Autores, 2020)

Sección	Tramo	Vu 2-2	Mu 3-3	Vn	ΦVn (Tonf)	Cumple	Mn (Tonf*m)	ΦMn (Tonf*m)	Cumple
A	1	1.07	0.60	18.06	13.55	Sí	8.03	7.22	Sí
A	2	1.06	0.52	18.06	13.55	Sí	8.03	7.22	Sí
A	3	1.23	0.60	18.06	13.55	Sí	8.03	7.22	Sí
B	1	3.29	7.06	36.84	27.63	Sí	31.77	28.60	Sí
B	2	4.25	8.90	36.84	27.63	Sí	31.77	28.60	Sí
B	3	6.61	15.38	36.84	27.63	Sí	31.77	28.60	Sí
C	1	8.78	9.76	41.21	30.91	Sí	34.76	31.28	Sí
C	2	8.31	6.52	41.21	30.91	Sí	34.76	31.28	Sí
C	3	12.55	11.59	41.21	30.91	Sí	34.76	31.28	Sí
D	1	3.20	6.35	20.24	15.18	Sí	16.38	14.74	Sí
D	2	2.44	4.43	20.24	15.18	Sí	16.38	14.74	Sí
D	3	2.56	4.64	20.24	15.18	Sí	16.38	14.74	Sí

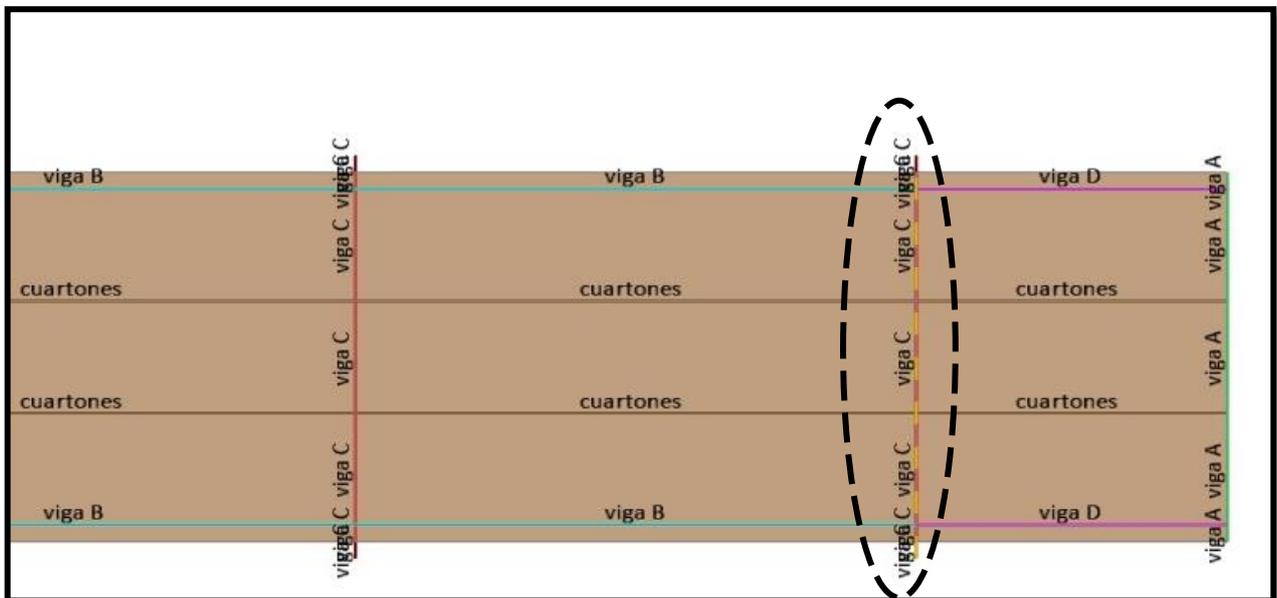
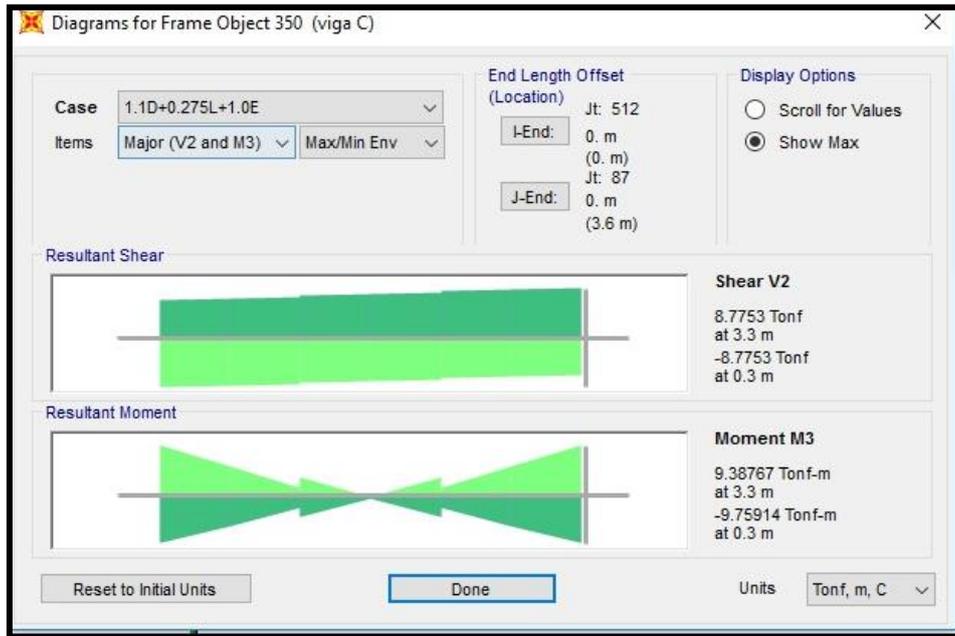


Figura 4.5 Momentos y cortantes máximos en la primera combinación de carga. SAP 2000. La línea punteada amarilla indica el objeto de las características. (Autores, 2020)

El máximo valor de cortante, para ambas combinaciones de carga, en la super estructura del tramo 1, fue de $V_u = 8.78 \text{ Tonf}$ (

Figura 4.5), en el sentido que se aplica las cargas muertas y vivas. Mientras que el máximo momento encontrado es **Mu = 9.39 Tonf*m**, como se muestra en la

Figura 4.5 . Para ambos casos los valores fueron menores a la capacidad de diseño del elemento. Esto se puede observar en las tablas de resultado en APÉNDICES.

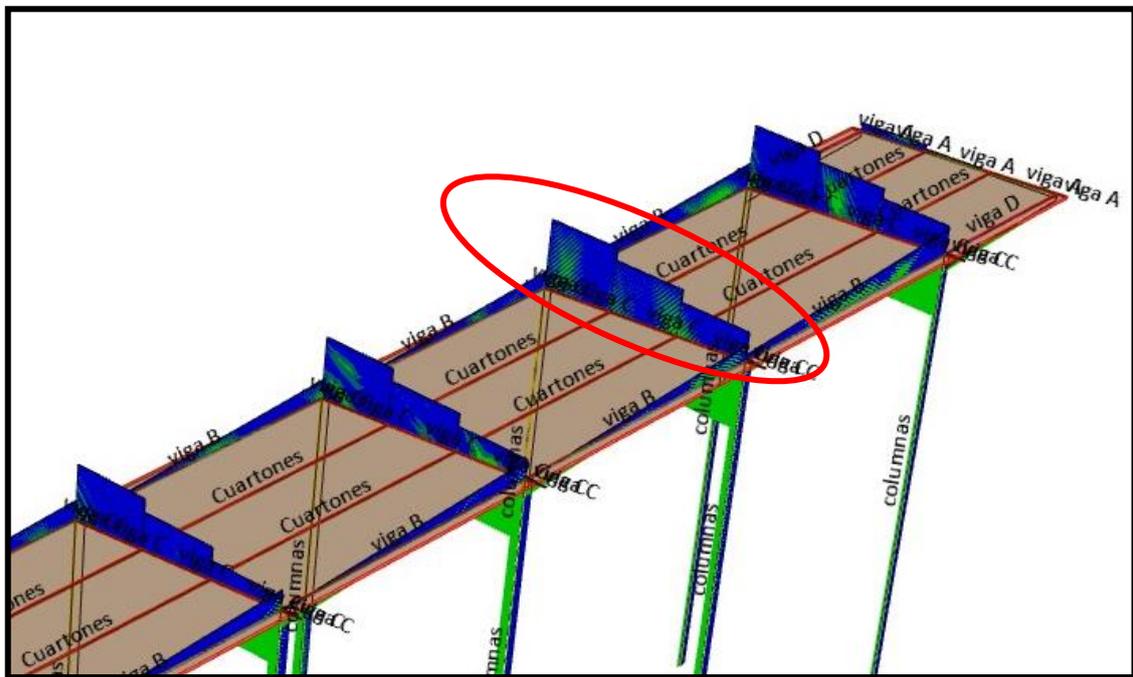


Figura 4.6 Momentos y cortantes máximos en el segundo tramo. SAP2000. En rojo la zona de la viga transversal C donde se presentan estas fuerzas internas del tramo 2 (Autores, 2020)

Para el tramo 2, la viga C en el extremo más lejano a la costa (ver Figura 4.6 b) presentó los mayores valores cortantes y momentos. Para el cortante máximo se tuvo un valor de **Vu = 8.31 Tonf**, mientras que para el momento máximo **Mu = 5.15 Tonf*m** (ver Figura 4.6 a). Al igual que en el tramo 1, los valores cumplieron con la relación capacidad de diseño y demanda.

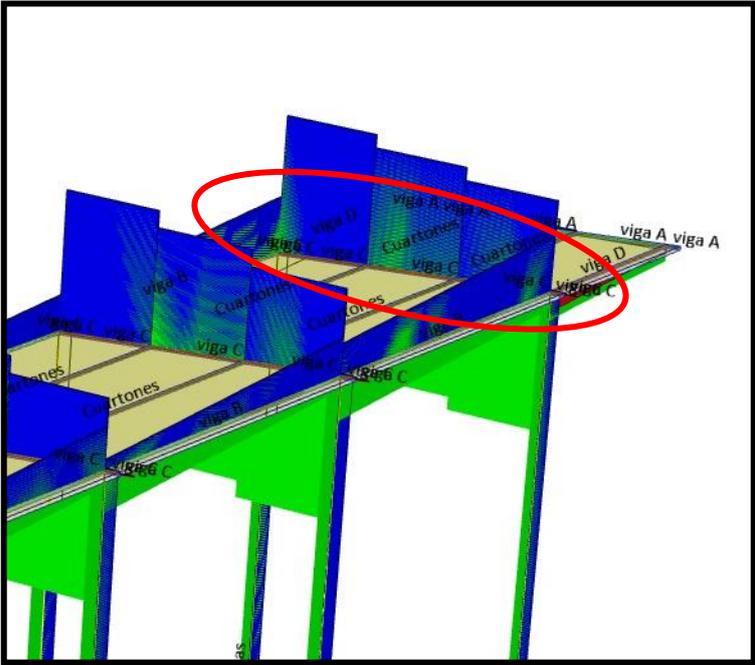
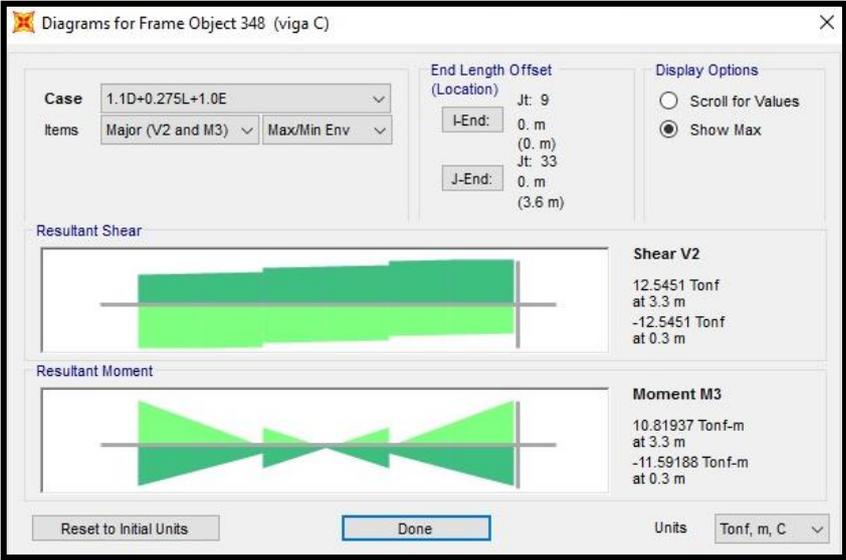


Figura 4.7 Momentos y cortantes máximos en el tercer tramo. SAP2000. En rojo la zona de la viga transversal C donde se presentan estas fuerzas internas del tramo 2 (Autores, 2020)

En el tramo 3, al igual que en los otros 2 tramos, se dieron los máximos valores de cortante y momento en la viga C transversal más alejada a la costa, en este caso específico en la viga C continua al último voladizo y encima de los pilotes guía (ver Figura 4.7 b). Para el cortante máximo se tiene un valor de **$V_u = 12.55 \text{ Tonf}$** , mientras que para el momento máximo se tiene **$M_u = 10.82 \text{ Tonf}\cdot\text{m}$** (ver Figura 4.7 a).

Al comparar los resultados de los tres tramos, se observó que las vigas transversales tipo C tienen los mayores valores de fuerzas internas, en los segmentos de tramos más alejado. Los mayores valores se dan en el tramo 3, seguidos por el tramo 1, todos cumpliendo con la capacidad de diseño, es decir resistiendo las fuerzas internas.

COLUMNAS

Los resultados para el diagrama de interacción de los pilotes de cada tramo fueron evaluados asumiendo una cuantía del 2% y un diámetro de varilla de 28 mm, debido a la falta de información del refuerzo en las columnas. Como se observó para las derivas, los valores son similares para ambas combinaciones de carga. Por esta razón, y al ser la primera combinación (1.1D+0.275L+E) de carga la que genera mayores esfuerzos, cumpliendo lo estipulado en la NEC de Riesgo Sísmico, nos limitamos al análisis de la demanda y capacidad de diseño solo de esta combinación.

Para el tramo 1, se tiene que los mayores esfuerzos internos se dieron en las columnas del extremo más cercano a la costa. El valor de cortante máximo fue **$V_u = 11.43 \text{ Tonf}$** , mientras que para el momento máximo se tuvo un valor negativo de **$M_u = -8.49 \text{ Tonf}\cdot\text{m}$** (ver Figura 4.8). En la tabla de APÉNDICES se comprobó que estos valores de cortante y momento para el tramo 1 cumplen con la capacidad de diseño y capacidad de cortante, siendo los momentos en 3-3 y cortantes en 2-2 aquellas con mayores efectos en los elementos estructurales.

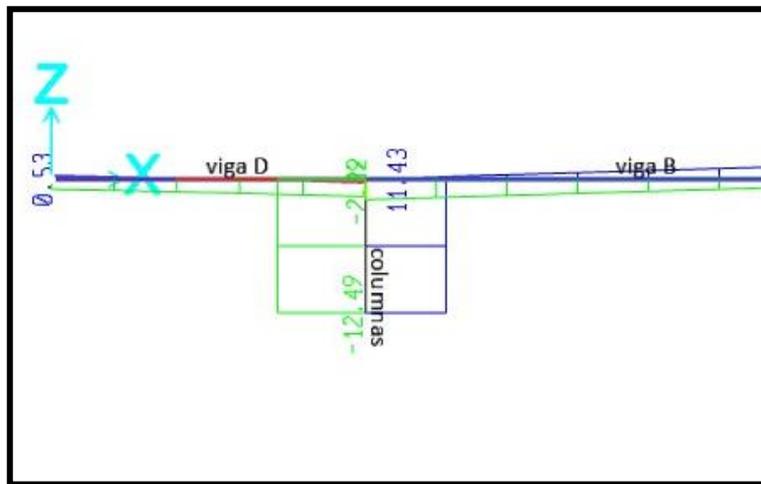
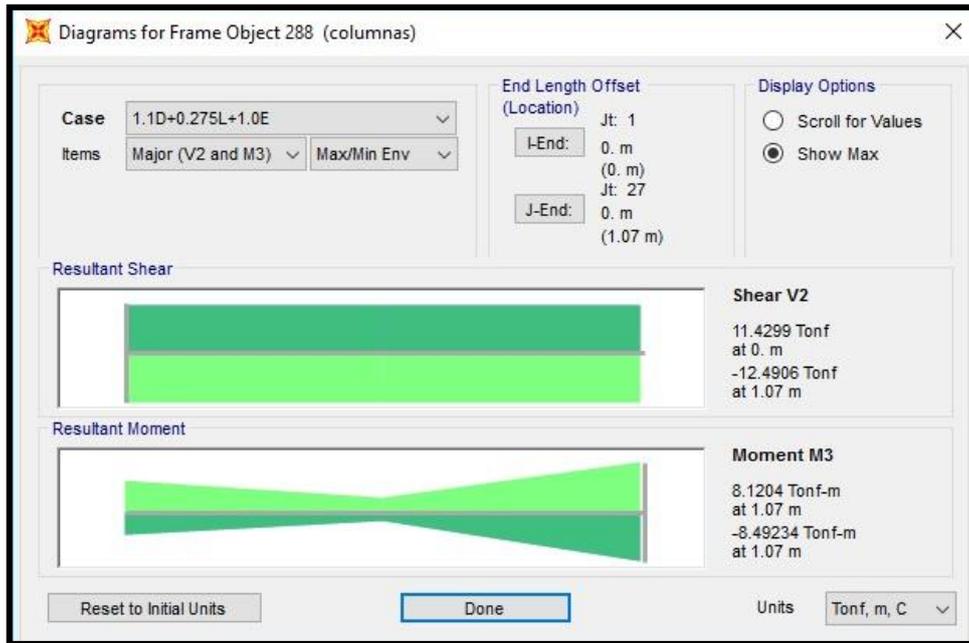


Figura 4.8 Momentos y cortantes máximos en el tramo 1 para pilotes, en SAP2000. (Autores, 2020)

Se comprobó para el tramo 1, mediante el diagrama de interacción de la Figura 4.9, que para todos los pilotes cumplen con la capacidad de diseño. Es decir, con los parámetros establecidos y la cuantía asumida, los elementos resisten las fuerzas internas. Esto se realizó graficando los momentos nominales con las cargas axiales nominales de los pilotes, y comprobando que la demanda entra en las curvas resultantes.

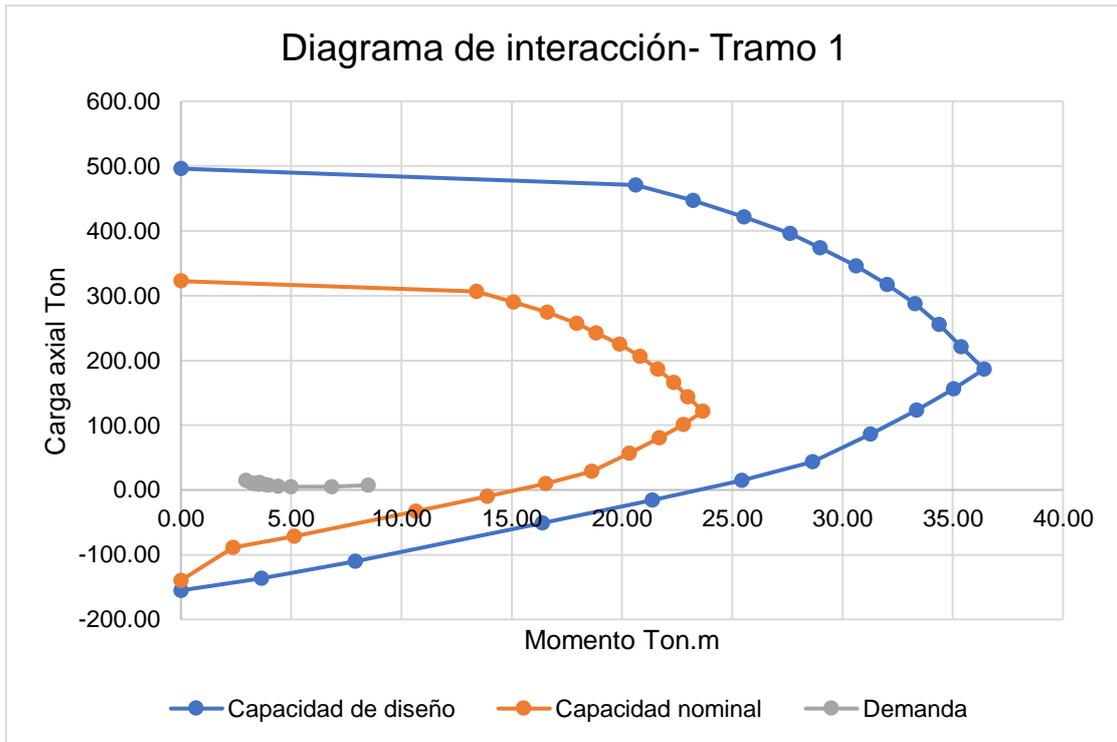


Figura 4.9 Diagrama de interacción para columnas del tramo 1. (Autores, 2020)

El tramo 2, al igual que en el tramo 1, tuvo sus valores máximos de cortante y momento en los pilotes más cercanos a la costa, siendo $V_u = 3.36 \text{ Tonf}$ y el momento positivo de $M_u = 9.52 \text{ Tonf}\cdot\text{m}$ (ver Figura 4.10).

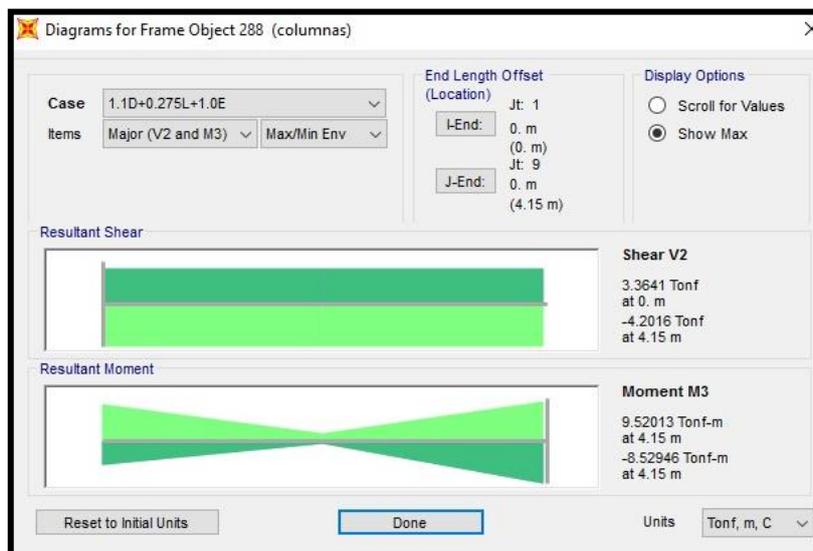


Figura 4.10 Momento y cortante máximos en el tramo 2 para pilotes, en SAP2000. (Autores, 2020)

Como comprobación se realizó el diagrama de interacción de la Figura 4.11 para los pilotes del tramo 1. Se observó que la demanda cumple con la capacidad de diseño, es decir que las columnas para este tramo resisten las fuerzas internas. En la Tabla 4.5 se comprobó además que, al igual que en todos los pilotes de la estructura, el refuerzo a corte cumple con la separación máxima establecida por el ACI.

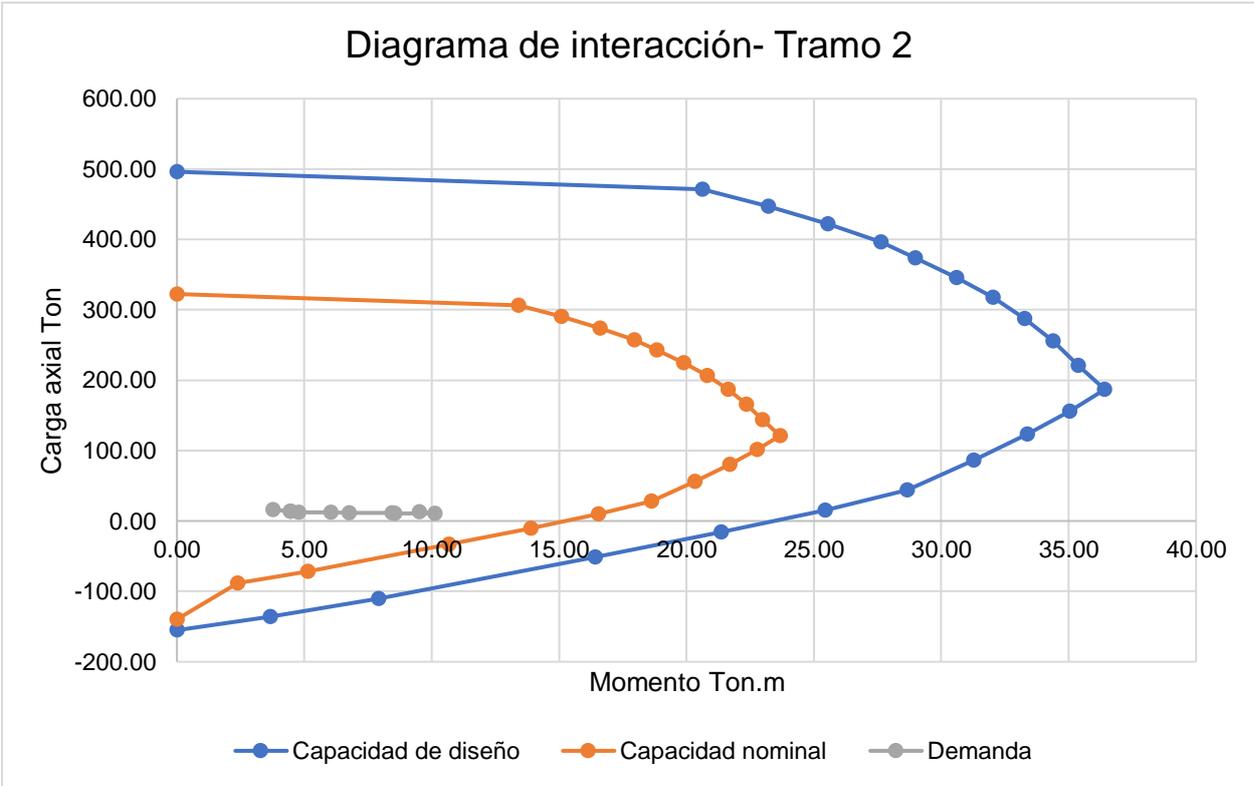


Figura 4.11 Diagrama de interacción para columnas del tramo 2. (Autores, 2020)

Tabla 4.5 Separación máxima de estribos - Capacidad cortante. (Autores, 2020)

$S_{max}(cm)$	$S_{max_aplicada}(cm)$	Cumple Separación máxima
32	25	Sí cumple

De la misma manera para el tramo 3 se originaron los mayores valores de cortantes y momentos en los pilotes más cercanos a la costa, contiguos al tramo 2. Los valores fueron $V_u = -3.92 \text{ Tonf}$, $V_u = 3.53 \text{ Tonf}$ positivo y un momento máximo positivo de M_u

= **16.14 Tonf*m** (ver Figura 4.12 Captura del modelo en donde se muestran las fuerzas internas de un pilote del tramo 2).

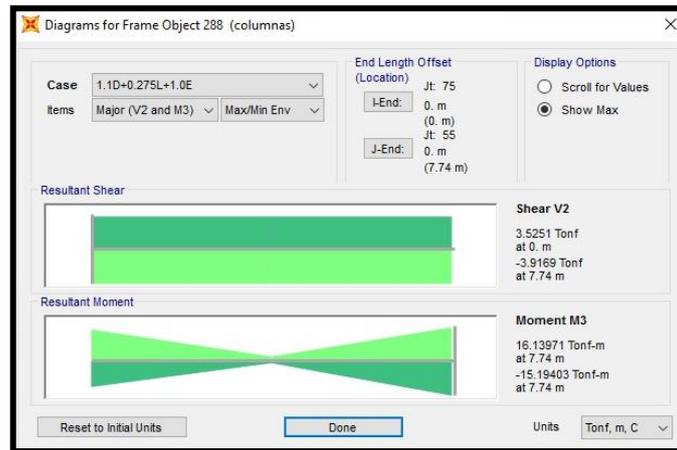


Figura 4.12 Captura del modelo en donde se muestran las fuerzas internas de un pilote del tramo 2

El diagrama de interacción para los pilotes del tramo 3 comprobó la resistencia a las fuerzas internas ante las cargas aplicadas. En la **Figura 4.13** se aprecia que, los resultados para la columna del extremo más lejano se acercan a la capacidad nominal, pero sigue dentro de lo requerido.

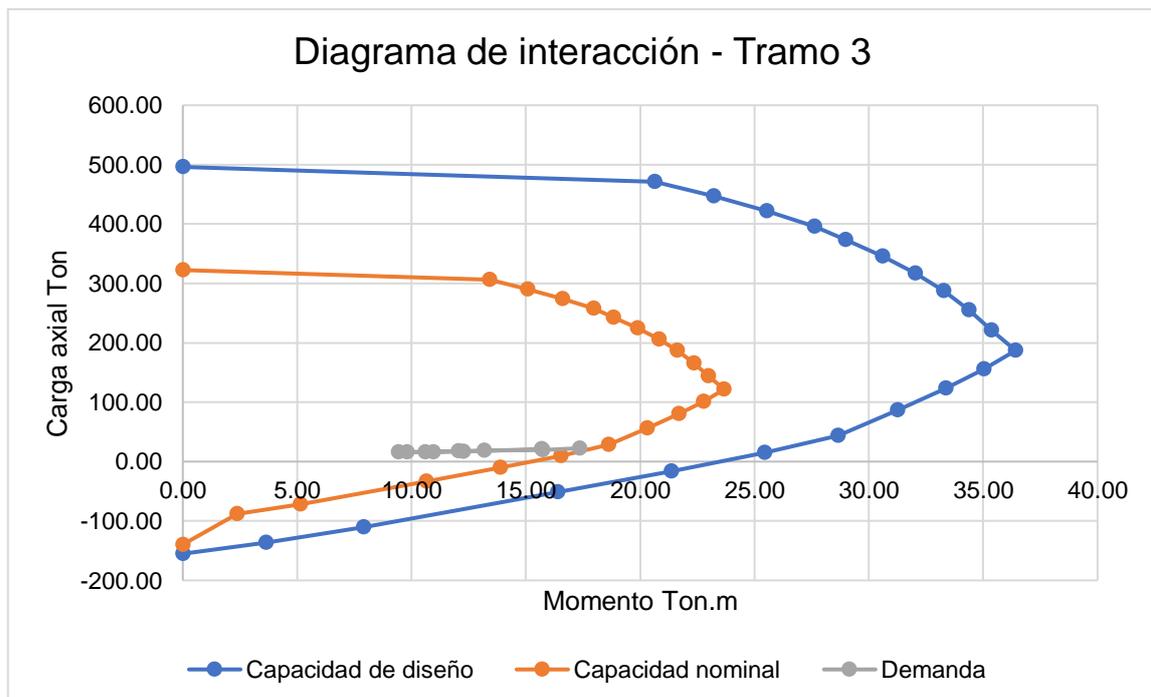


Figura 4.13 Diagrama de interacción para columnas del tramo 3. (Autores, 2020)

La fuerza sísmica se aplicó en el eje 'x' y 'y' global de los pilotes, resultando en momentos y cortantes en los ejes 2-2 y 3-3 como se muestran en las tablas de APÉNDICES. Los valores, comparando los tres tramos, mostraron que el cortante máximo positivo en toda la estructura es de **Vu = 11.43 Tonf** en los pilotes cercanos a la costa del tramo 1, mientras que el momento máximo de **Mu=16.14 Tonf*m** se dio en los pilotes guías, es decir los pilotes más lejanos a la costa del tramo 3. Los resultados para los tres tramos muestran que las columnas cumplen con la capacidad de diseño y nominal requerida para soportar las cargas como sugiere el ACI y la NEC. Esto tomando en cuenta que se considera una resistencia de $f'c = 350 \text{ kg/cm}^2$.

4.2 Propuesta de soluciones

En primera instancia, se puede observar en la sección 4.1 que, a partir de los resultados del modelo del muelle fijo de hormigón, compuesto de tres tramos, la capacidad de diseño cumple con la demanda en cuanto a fuerzas internas. Sin embargo, los espaciamientos entre tramos no se están cumpliendo, generando los agrietamientos en las vigas de voladizo, como se puede observar en la Figura 3.2.

Por otro lado, en la sección 3.1, se describieron los daños y reparaciones de los elementos del muelle flotante acoplado al muelle de pasarela. Esta estructura parte de una escala móvil que sale del voladizo y pilotes guías del muelle de pasarela, en el tramo 3.

Las mayores reparaciones han sido realizadas en lo que respecta a las líneas de amarre. Estas consisten en cabos que conectan la estructura metálica a varios pesos de hormigón, permitiendo: el anclaje del sistema, el desplazamiento en ambos sentidos del eje vertical en cuanto los niveles de marea cambian, mientras previenen la rotación y volcamiento ante la acción del oleaje. Cuando estas se rompen, debido a las condiciones del medio físico, pueden generar que la estructura impacte al muelle de pasarela y/o quedar a la deriva.

Los requerimientos identificados que las soluciones deben cumplir para un óptimo desenvolvimiento del muelle flotante son:

- a. Mejorar el factor de seguridad en la estabilidad, hundimiento y deriva del muelle flotante.

- b. Cumplir con el calado potencial de 8 metros en la zona, además de evitar afectación a la estructura colindante en cuanto a los movimientos horizontales, en este caso a los pilotes guías y voladizo del muelle de pasarela.
- c. Aminorar las reparaciones emergentes y costos de operación a largo plazo.

A partir de estas resoluciones se propusieron las siguientes soluciones, tanto para el muelle de hormigón como para el muelle flotante.

4.2.1.1 Solución A- Reparación de muelle fijo y rompeolas acoplado al muelle de pasarela.

En esta solución se plantea, en primer lugar, reparar sus agrietamientos y problemas de espaciamiento entre tramos del muelle de pasarela analizado en el modelo de SAP2000. Además, se propone un reemplazo del muelle flotante por un rompeolas emergido acoplado al muelle de pasarela, partiendo de una escala móvil con un diseño nuevo. El rompeolas cumplirá con la altura de ola de diseño calculada a partir de la información de oleaje recopilada de años previos, además de la validación con datos satelitales, tanto para sus dimensiones como para el peso del enrocado. De este modo se propone que el rompeolas permita abrigo a las lanchas usadas para el practicaaje, y permita el tránsito de los prácticos hacia la escala móvil conexas al muelle fijo. Las limitantes de esta solución se centran en la escasa de información en sitio actualizada del medio físico, en cuanto al diseño de rompeolas. Además, el costo de esta estructura costera puede llegar a exceder las expectativas del cliente, debido a la profundidad de 8 metros en la zona donde se implantaría y, por ende, una altura de rompeolas que implica una gran cantidad de material para su construcción.

Con respecto a la reparación del muelle fijo, se propone un rediseño de las vigas en voladizo entre tramos, acortando sus longitudes y manteniendo la cuantía de acero de refuerzo, puesto que el modelo presentó un cumplimiento de la capacidad del diseño existente. A su vez, un reordenamiento de las duelas, cuarterones y pasamanos para cumplir con el redimensionamiento realizado. Los espaciamientos respectivos de 12 cm entre tramos serán cubiertos por cubrejuntas de acero anodizado, o algún material similar, resistente al medio marino, permitiendo el tránsito y empernados sobre las nuevas duelas y cuarterones.

4.2.1.2 Solución B- Rediseño del muelle de pasarela y del muelle flotante

Para la segunda solución se propone un rediseño completo, tanto del muelle fijo como del flotante. Se justifica esta propuesta debido al deterioro que se detecta tanto en las inspecciones visuales como en el análisis de los reportes de daños. Para ello se debe realizar previamente un estudio del material en laboratorios, para saber su resistencia actual, y comprobar la necesidad de un muelle de hormigón nuevo. Por otro lado, se debe tener datos de campo sobre la dinámica de las mareas, clima del oleaje, estratigrafía y batimetría recientes. Este diseño, de manera conceptual, mantendrá el tipo de material (hormigón), con arriostamiento para evitar desplazamientos, y un suelo distinto al de duelas de madera.

En cuanto al muelle flotante, se propone la adquisición por mercado de uno completamente nuevo, o en caso de tener los recursos económicos considerar el rediseño de este, descartando la estructura actual por sus condiciones. Las limitaciones respecto a esa parte de la propuesta consisten en la falta de planos del muelle flotante, tanto de los originales como algún documento actualizado, por lo que no se conoce a que magnitud sus daños requieren prescindir del mismo.

4.2.1.3 Solución C- Reparaciones del muelle fijo y reemplazo de líneas de amarre en el muelle flotante.

Como se propuso para la solución A, la solución C desarrolla la idea de solucionar, en base a los resultados obtenidos del modelo en SAP2000, la problemática de los espaciamientos entre tramos del muelle fijo de hormigón. Esto pues se puede interpretar que los agrietamientos apreciados en las inspecciones visuales, en el área de los voladizos de las uniones entre tramos, son resultado del incumplimiento de los espaciados, resultando en una colisión de elementos y por tanto los daños ante eventos sísmicos en la zona.

A diferencia de las otras soluciones, para el muelle flotante no se propone una nueva estructura de atraque, se sugiere un reemplazo del material con el que se realiza el anclaje del sistema. Entre las alternativas se encuentran cadenas galvanizadas, cables galvanizados, u otra estructura que controle la estabilidad del muelle flotante con los

pesos de hormigón que se encuentran en el fondo. Todo esto, cumpliendo con los requisitos ya antes mencionados para el óptimo anclaje del sistema.

4.2.2 Elección de solución a diseñar

Se seleccionó la opción C, ya que se considera la más factible para este proyecto, a partir del modelo computacional y la información de la caracterización de la zona. Además, cumple con el alcance del proyecto y se encuentra dentro de las limitaciones presentadas en el Capítulo 1. Las dos primeras soluciones proyectan costos altos, sin considerar la limitada información que se tiene tanto de las propiedades del material del muelle fijo, como el diseño del muelle flotante existente.

Los resultados presentados en la sección anterior muestran que los momentos y cortantes de las vigas y columnas de la estructura de hormigón cumplen con la demanda, por lo que su rehabilitación es posible.

CAPÍTULO 5

5. DISEÑO DE LA SOLUCIÓN

5.1 Muelle Fijo

5.1.1 Rediseño de voladizos

Debido al incumplimiento de las separaciones entre tramos del muelle fijo, apreciable en campo (**Figura 3.2**), y a partir de los resultados obtenidos de desplazamientos inelásticos en el modelo en la sección anterior, se realiza la propuesta de redimensionamiento de las vigas en voladizo tipo D, para cada tramo.

Tomamos una separación máxima de 12 cm entre tramos, como se aprecia en la imagen en plano de los voladizos. De esta manera se tiene una referencia para el recorte de la longitud de las vigas modificadas. Este valor se obtiene del máximo de separaciones entre tramos, que a su vez es el doble del desplazamiento inelástico máximo en los nodos internos. (ver y) En cuanto a los elementos encima de estas vigas en voladizo y sus separaciones, se plantea un rediseño de la orientación de los cuarterones y ubicación de las duelas de cada segmento involucrado. Con ello se pretende evitar daños en los elementos de las estructuras en caso de un sismo, con un espaciado sin obstáculos que permita el libre desplazamiento.

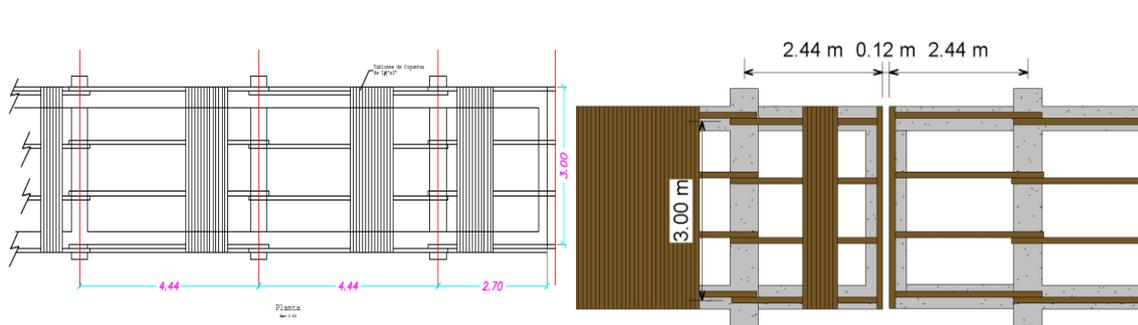


Figura 5.1 Distribución de los cuarterones y duelas en muelle de pasarela, a) a la izquierda en base a planos originales (Alvarez B., 2017) b) a la derecha solución propuesta (Autores, 2020)

5.1.2 Cubrejuntas

Con el propósito de habilitar el tránsito encima de la pasarela, a causa del espacio entre tramos del muelle fijo que no se encuentra cubierto por elemento alguno, se considera la necesidad de un cubrejunta o tapajuntas. Los cubrejuntas cumplen la función de proteger u ocultar ranuras de unión entre dos elementos, de modo que permite el movimiento sobre las superficies donde se encuentran fijados.

Se plantea el siguiente diseño de cubrejuntas, para su fabricación particular en este proyecto. Su longitud cumple con los 3 metros del ancho del muelle. Evaluamos diferentes alternativas que cumplan con la separación de 12 cm, además del tipo de material anticorrosivo y su fijación en un extremo del elemento.

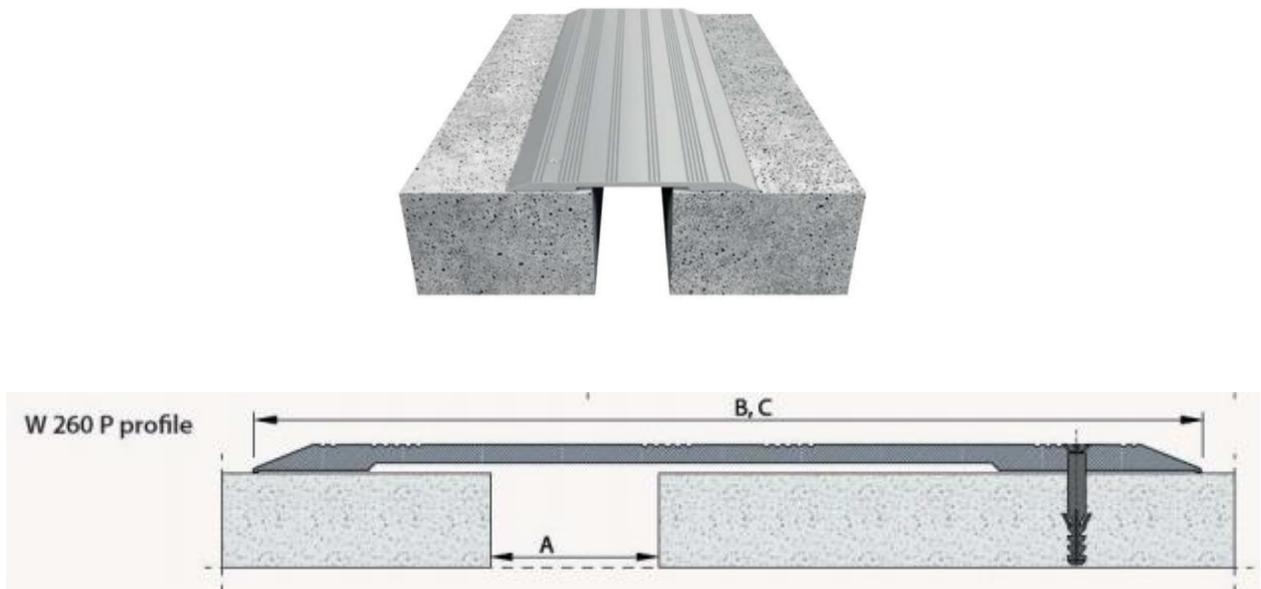


Figura 5.2 Ejemplo de cubrejuntas de aluminio anodizado. En la parte superior se observa los elementos que se componen. En la parte inferior las dimensiones a considerar. (Toffolo)

Se buscan productos de mercado relacionados a cubrejuntas metálicos de material resistente al agua de mar, para tener de referencia en el diseño de cubrejuntas más conveniente. Para los modelos se consideran una apertura de junta de 120 mm (12 cm), que permita: movimientos horizontales, resistencia a pesos de grandes magnitudes para

el paso de cargas y personal, fijaciones solamente de un extremo, acabado metálico tal que resista las condiciones ambientales, anchos de mayor o igual a 200 mm (20 cm) de forma que tenga material suficiente para su anclaje y una longitud de 3 metros para cubrir el ancho del muelle.

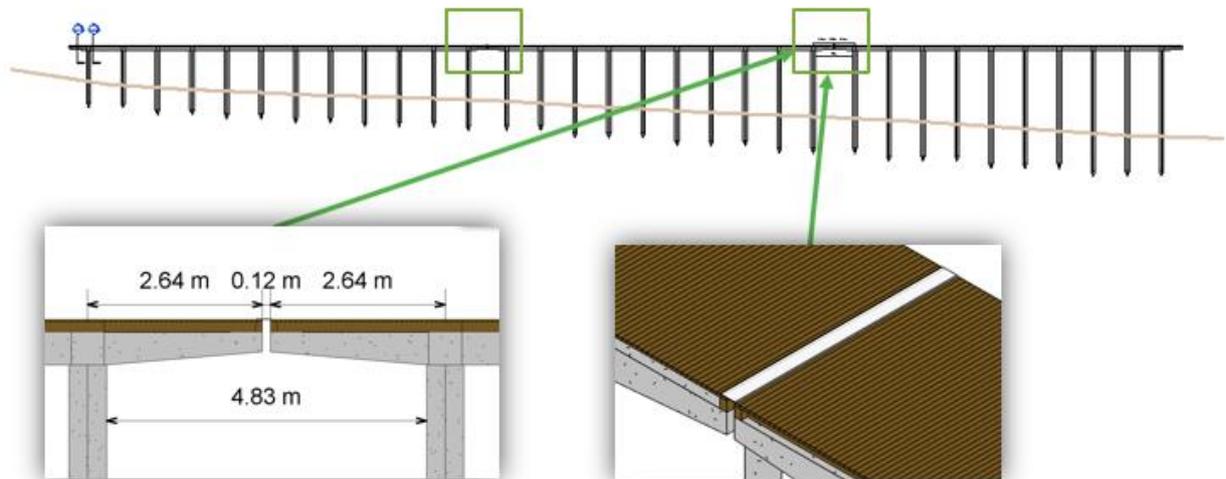


Figura 5.3 Cubrejuntas y rediseño de vigas entre el tramo 2 y 3, en Revit. (Autores, 2020)

De manera conceptual se propone el diseño de cubrejuntas que como se puede observar en la Figura 5.3 , considerando el espaciado, encima de las duelas de borde

5.1.3 Método constructivo

En esta sección se realiza una breve explicación de la puesta en escena del desarrollo de la solución C, antes expuesta. La explicación será en base a los documentos referenciales de (Alvarez B., 2017) y (Pacheco, 2013), en cuanto al muelle de la casa de prácticos.

5.1.3.1 Reconstrucción de Vigas en Voladizo- Hormigón y Hierro de en volado

Para la reparación de las vigas en voladizo, se debe demoler en primera instancia las vigas existentes en los voladizos internos entre tramos. Para ello se realiza la construcción de estructuras falsas para el desmonte de este material a reconstruir. Esta obra falsa, compuesta de plataformas temporales evitará que el material

demolido caiga al medio en el que se encuentra, y con ello evita la contaminación de este. El material cortado con equipo técnico será recopilado por maquinaria especializada, y depositado en zonas seleccionadas con anterioridad.

Una vez derrocado el material, se procede a la instalación y preparación del nuevo acero y hormigón, de un $f_y=4200 \text{ kg/cm}^2$ y $f'_c=350 \text{ kg/cm}^2$ respectivamente. Esto se realizará con personal especializado (ej. como carpinteros y peones, con debido equipo de protección), y diseñando las vigas en sitio con un encofrado que cumpla las dimensiones de las vigas requeridas, sin fugas. Se tiene en cuenta que las dimensiones de las vigas D a reconstruir solo varían en longitud, más las dimensiones de la sección se mantiene, al igual que las especificaciones del refuerzo. Las vigas del tipo A en los voladizos se mantienen tanto en dimensiones como en refuerzo.

5.1.3.2 Montaje y Desmontaje de duelas y cuartones

Antes de proceder a reconstruir las vigas y demoler el material, se debe desmantelar el material encima de estos elementos de hormigón. Para ello se quitarán los elementos de amarre (ej. tornillos), y luego las duelas en conjunto a los cuartones. Esto solo se debe realizar para el segmento que va a ser reestructurado.

El montaje de las duelas reordenadas se realizará de a una, considerando lo mencionado en la sección 5.1.1, en cuanto a la orientación y ubicación de estas. Antes de este proceso, se debe asegurar que las vigas en voladizo redimensionadas se encuentren construidas. Del mismo modo que con las duelas, se instalan los cuartones bajo las duelas, como viguetas de soporte.

5.1.3.3 Instalación de tuberías y pasamanos sobre la pasarela

Estos son elementos que se desmontan antes de la reestructuración de duelas y cuartones, como del trabajo sobre las vigas de voladizo. Las tuberías y pasamanos de material metálico galvanizado se pueden conseguir prefabricados o mandar a fabricar en un taller, con material sugerido de acero A-36. Además, la propuesta sugiere utilizar el diseño original de los mismos. En cuanto a las tuberías en específico, personal especializado tiene que garantizar el correcto funcionamiento para el abastecimiento de agua a los prácticos.

5.2 Muelle flotante: solución sugerida

Entre las alternativas de solución para el estado presentado del material que se usa recurrentemente en las líneas de amarre se encuentran:

1. Cadenas galvanizadas: Se recomiendan cadenas galvanizadas que permitan sujeción a los pesos de hormigón de fondo.
 - a. Ventajas: transmiten cargas grandes sin deslizamiento, y alta rigidez ante el medio altamente dinámico. Al mismo tiempo permite movimiento vertical y horizontal requerido por oleaje y mareas. Además, permite el ajuste por temporadas desde la parte superficial con mayor facilidad.
 - b. Limitaciones: Pueden implicar mantenimiento constante en cuanto a lubricación y bio incrustación de conchas, aunque estén galvanizadas.
2. Cable galvanizado: En lo que respecta a un gran desplazamiento o rigidez en el movimiento que se genere en el muelle flotante, los cables son una mejor opción. Puesto que tienen una mayor resistencia a romperse, y en caso de ser de fibra sintética son más elásticos, permiten que el movimiento de la estructura tenga mejor retención ante las condiciones físicas del muelle, además de la fuerza aplicada al momento del atraque de las lanchas.
 - a. Ventajas: Presentan alta resistencia a la tensión y dinámica del medio. Permite los movimientos del muelle flotante anclado.
 - b. Limitaciones: Al igual que las cadenas, implican mantenimiento ante el 'biofouling' o bio incrustación por estar en un medio marino.
3. Sistemas de amarre y anclaje elástico: productos elaborados por industrias extranjeras como Hazelett Marine, para amarre de estructuras como muelles flotantes. Éste está conectado a un tornillo helicoidal, y un material elástico resistente a la abrasión y bio incrustación, que absorbe energía del movimiento del medio, conectado a una cadena o cable galvanizados para llegar a la boya del muelle flotante. Su precio puede variar de \$300 a \$3000 dependiendo de las especificaciones. (Hazlett Marine, 2020)

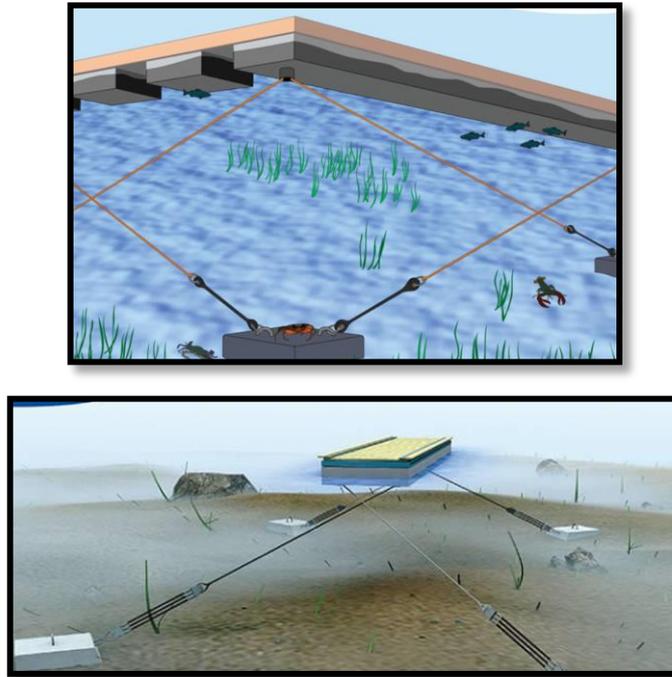


Figura 5.4 Muelle anclado a pesos de hormigón con material de Hazelett. A) arriba anclaje triple b) abajo anclaje simple. (Hazlett Marine, 2020)

5.3 Análisis de Precios Unitarios

El proyecto contempla la siguiente cotización de rubros para las soluciones planteadas en la sección anterior. Para ello se realizó un análisis de precios unitarios, y a partir del mismo se considera un precio final aproximado para cada rubro (ver detalles en APÉNDICES). Como referencia se usan precios unitarios de la revista DOMUS 2020, estimados del trabajo de titulación “METODOLOGÍA DE REPARACIÓN DEL MUELLE PASARELA DE LA ESTACIÓN DE PRÁCTICOS DE DATA POSORJA” (Alvarez B., 2017), y del proyecto “ACTUALIZACION Y REDISEÑO DEL MUELLE DE LA TERMINAL MARITIMA PUERTO GAL” (Espol-Tech, 2019).

Tabla 5.1 Análisis de precios unitarios de las soluciones propuestas

RUBRO	UNIDAD	CANTIDAD	P. UNITARIO (\$)	P. TOTAL (\$)
DERROCAMIENTO DE HORMIGÓN	m ³	5.52	491.23	2711.59
HORMIGÓN ARMADO DE VIGAS EN VOLADIZO F'C=350KG/CM2 0.3X2.44M	m ³	2.83	488.45	1382.31
HORMIGÓN ARMADO DE VIGAS EN VOLADIZO F'C=350KG/CM2 0.3X2.2.38M	m ³	2.76	488.45	1348.12
HIERRO EN VIGAS	kg	106.92	27.11	2721.11
ENCOFRADO DE VIGAS	m ²	40.00	158.88	6355.20
OBRA FALSA	U	4.00	7,911.04	31644.16
INSTALACIÓN DE PASAMANOS NUEVOS DEL MUELLE	ml	165.24	155.07	25623.77
DESMONTAJE DE CUARTONES Y DUELAS DE PISO	m ²	31.81	33.01	1050.5
INSTALACIÓN DE CUBREJUNTAS EN SEPARACIONES	ml	6.00	67.76	406.56
REEMPLAZO DE TUBERIAS	ml	19.28	29.23	563.55
MONTAJE DE CUARTONES Y DUELAS	m ²	31.81	77.64	2469.73
MONTAJE Y CONEXIÓN DE LUMINARIAS	U	2.00	937.08	1874.16
DESALOJO DEL MATERIAL	U	1.00	491.43	491.43
REEMPLAZO DE LINEAS DE AMARRE EN MUELLE FLOTANTE	U	1.00	23,479.11	23,479.11
TOTAL, PRESUPUESTO				\$102120.85

CAPÍTULO 6

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

El análisis del estado estructural del muelle de la casa de prácticos mediante un modelo en SAP2000 simplifica la obtención de resultados y la interpretación del comportamiento de este ante las cargas aplicadas. Aunque el tipo de análisis seleccionado es conservador, los resultados del modelo nos dan un buen acercamiento de las condiciones en las que el muelle se encuentra, y su respuesta ante cargas sísmicas.

Los datos recopilados por sensores remotos y bases de datos variadas permiten caracterizar la zona de manera general y validar los datos existentes del medio físico. Esta información es de gran importancia para la Autoridad Portuaria de Guayaquil, para referenciar y validar datos de campo futuros en cuanto a estudios oceanográficos del área de estudio, en especial la información de oleaje, corrientes y mareas necesaria al momento de diseño de estructuras costeras. El proyecto propone soluciones de bajo costo ante condiciones estructurales del muelle y un modelo flexible para análisis futuros, optimizando los tiempos logísticos del transporte marítimo del puerto Simón Bolívar.

6.1 Conclusiones

- Los elementos estructurales del muelle de pasarela resisten las fuerzas internas que actúan sobre él, según el modelo de espectro de respuesta elaborado en base a la NEC. Esto considerando una propiedad de resistencia del hormigón de 350 kg/cm². Sin embargo, los espaciamientos entre tramos no cumplen con los desplazamientos máximos que el modelo sugiere para evitar daños.
- Las soluciones propuestas del rediseño de vigas en voladizo, entre tramos, y cubrejuntas para habilitar el tránsito, cumplen con los desplazamientos máximos de los pilotes extremos, permitiendo disminuir los daños reportados en inspecciones visuales en el muelle fijo.
- Debido a la fuerza del oleaje y la influencia de la marea, el muelle flotante presenta su mayoría de daños en las líneas de amarre. Se proponen soluciones de acero

galvanizado, como cadenas y materiales elásticos que permitan una rigidez y desplazamiento que respondan de mejor manera a la dinámica del medio.

- El costo referencial de las reparaciones propuestas alcanza los \$103000 aumentando la vida útil del muelle ante eventos sísmicos, y reduciendo el costo de las reparaciones emergentes a futuro.

6.2 Recomendaciones

- Realizar un estudio de campo y ensayos de laboratorio para determinar de manera más precisa la resistencia actual de los materiales y las características del medio físico. En base a estos nuevos datos realizar el análisis no conservador del tipo no lineal dinámico. Además considerar en la metodología de construcción un análisis completo de línea base y evaluación de impacto ambiental.
- Rediseñar el muelle flotante, de tal manera de que se cuente con una plataforma más segura, duradera y con un buen acople a la dinámica del medio. Para ello se sugiere un estudio multidisciplinario, evaluando propiedades mecánicas de los elementos existentes, y/o de los elementos a usar. Realizar una inspección en campo del estado actual del muelle flotante, y relevar un plano estructural base de este.
- Reparar el muro de contención que protege la casa de prácticos, debido a que no se encuentra en buenas condiciones. Las rocas de la capa de coraza se encuentran desprendidas, dando como resultado un geotextil rasgado. Se recomienda un estudio para la propuesta de soluciones ante esta necesidad.

BIBLIOGRAFÍA

- Abell, M. (2014). *Linear vs. Nonlinear Analysis*. Obtenido de CSI Knowledge Base: <https://wiki.csiamerica.com/display/kb/Nonlinear>
- Álava, H., Pinargote, M., Zurita, W., & Mejía, M. T. (2009). *Proyecto para retomar en su totalidad el servicio de practica de la Autoridad Portuaria de Guayaquil*. Guayaquil, Ecuador: Escuela Superior Politécnica del Litoral. Obtenido de <http://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/4839/1/7568.pdf>
- Alvarez B., M. Á. (2017). *Metodología de reparación del muelle pasarela de la estación de prácticos de Data Posorja*. Guayaquil: Universidad de Guayaquil.
- Autoridad Portuaria de Guayaquil. (2019). *Plan Estratégico Institucional*. Guayaquil, Ecuador: Autoridad Portuaria de Guayaquil. Obtenido de puertodeguayaquil.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2019/04/plan_estrategico_institucional_apg_2019-2021.pdf
- Calder, M. (10 de May de 2018). *Royal Society Open Science*. (R. Society, Ed.) doi:10.1098
- Carmichael, D. A. (14 de June de 1977). *Estados Unidos Patente nº 4.028.899*. Obtenido de <https://patentimages.storage.googleapis.com/51/f9/ef/29776c21053b4d/US4028899.pdf>
- Dávila, G. (2012). *El Proyecto y Construcción de las Obras Portuarias de Atraque y Amarre*. Universidad Nacional Autónoma de México. doi:132.248.52.100
- De Weck, O., & Il, Y. K. (12 de Enero de 2004). *Engineering Design and Rapid Prototyping Engineering Design and Rapid Prototyping*. Recuperado el 6 de Julio de 2020, de Massachusetts Insitute of Technology: http://web.mit.edu/16.810/www/16.810_L4_CAE.pdf

Digiacom, D. A. (30 de Agosto de 1994). *Estados Unidos Patente nº 5.341.757*.
Obtenido de
<https://patentimages.storage.googleapis.com/8f/72/31/675fcfe1129d3c/US5341757.pdf>

Dirección de Obras Portuarias. (s.f.). *Guía de diseño, construcción, operación y conservación de obras marítimas y costeras* (Vol. I). Santiago, Chile: Ministerio de Obras Públicas. Obtenido de
http://www.abcpuertos.cl/documentos/MOP/MOP_Vol_2_Estados_de_Carga_Parte_3.pdf

Espol-Tech. (2019). *ACTUALIZACION Y REDISEÑO DEL MUELLE DE LA TERMINAL MARITIMA PUERTO GAL*.

GeoEstudios. (2014). Geotecnia del Fondo Marino. En M. d. Guayaquil, *Dragado Goles Canal de Acceso GYE 2014* (págs. 5-1 a 5-39). Obtenido de
[https://guayaquil.gob.ec/Dragado/4\)%20DRAGADO%20GOLES%20CANAL%20ACCESO%20GYE%202014/Capi%CC%81tulo%20V%20GEOTECNIA%20DE%20FONDO%20MARINO%20070314/Capi%CC%81tulo%20V%20Geotecnia%20de%20Fondo%20Marino050214.pdf](https://guayaquil.gob.ec/Dragado/4)%20DRAGADO%20GOLES%20CANAL%20ACCESO%20GYE%202014/Capi%CC%81tulo%20V%20GEOTECNIA%20DE%20FONDO%20MARINO%20070314/Capi%CC%81tulo%20V%20Geotecnia%20de%20Fondo%20Marino050214.pdf)

Geoestudios-Consulsua. (2012). Fase III- Capítulo 14. Estudios Oceanográficos. En A. P. Guayaquil, *Puerto Marítimo de Guayaquil*. Obtenido de
[https://www.guayaquil.gob.ec/Dragado/3\)%20DRAGADO%20FULL%20CANAL%20ACCESO%20GYE%202012/Capitulo14%20ESTUDIOS%20OCEANOGRAFICOS/Capitulo14%20Estudios%20Oceanograficos.pdf](https://www.guayaquil.gob.ec/Dragado/3)%20DRAGADO%20FULL%20CANAL%20ACCESO%20GYE%202012/Capitulo14%20ESTUDIOS%20OCEANOGRAFICOS/Capitulo14%20Estudios%20Oceanograficos.pdf)

Geoestudios-Consulsua. (2014). Ingeniería de Costas. En M. M. Guayaquil, *Actualización a nivel de factibilidad (definitivo) de los estudios de factibilidad y de diseño del canal de acceso a los muelles del terminal marítimo Simón Bolívar para determinar el dragado a la profundidad de 11 metros con respecto al MLWS*. Guayaquil: Municipalidad de Guayaquil. Recuperado el Junio de 2020, de
[https://www.guayaquil.gob.ec/Dragado/4\)%20DRAGADO%20GOLES%20CANAL%20ACCESO%20GYE%202014/Capi%CC%81tulo%20VI%20INGENIERIA%20DE%20COSTAS070314/Capi%CC%81tulo%20VI%20Ingenieri%CC%81a%20de%20Costas070214.pdf](https://www.guayaquil.gob.ec/Dragado/4)%20DRAGADO%20GOLES%20CANAL%20ACCESO%20GYE%202014/Capi%CC%81tulo%20VI%20INGENIERIA%20DE%20COSTAS070314/Capi%CC%81tulo%20VI%20Ingenieri%CC%81a%20de%20Costas070214.pdf)

- Hazlett Marine. (2020). *Hazelett Marine*. Obtenido de Elastic Mooring Systems: <https://hazelettmarine.com/es/>
- INOCAR. (Septiembre de 2020). *Tabla de mareas de puertos del Ecuador*. Obtenido de Instituto Oceanográfico y Antártico de la Armada: <https://www.inocar.mil.ec/web/index.php/productos/tabla-mareas>
- Llorca, José; González, José; Ametller, Sergi. (2012). *ROM 2.0-11 (Recomendaciones para el proyecto y ejecución en Obras de Atraque y Amarre)* (Vol. II). (P. d. Estado, Ed.) España: Puertos del Estado. Obtenido de http://www.abcpuertos.cl/documentos/Rom_2_0/rom_2.0-11_portada_tomo_ii.pdf
- Lourenco, P. B. (s.f.). *Types of analysis: Linear static, linear dynamic and non linear static*. Minho: University of Minho. Obtenido de http://www.iaa-conservation.org.il/pdf/engineers2011/09_Types%20of%20analysis.pdf
- Lovett, J. T. (2 de Octubre de 2001). *Estados Unidos Patente nº US 6.295.944 B1*. Obtenido de <https://patentimages.storage.googleapis.com/18/c3/98/dbca005122e1d1/US6295944.pdf>
- Ministerio de Economía y Finanzas. (2018). *Guayaquil, gran impulsor del desarrollo económico del Ecuador*. Quito. Obtenido de https://www.finanzas.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2018/10/Boleti%CC%81n.MEF_.Guayaquil.PM_.V.pdf
- Ministerio de transporte y obras públicas. (2018). *Estadísticas Portuarias y de Transporte Marítimo*. Guayaquil. Obtenido de https://www.obraspublicas.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2019/07/Boletin-Estadistico-2018_MTOP.pdf
- Ministerio del Ambiente Guayas. (Febrero de 2014). *WordPress*. Obtenido de <https://maeguayas.files.wordpress.com/2014/02/eia-rehabilitacion-y-bybass-playas-posorja.pdf>

Moreno-Alcivar, L., Muñoz-Rosado, M., & Ramírez-Palma, R. (Septiembre-Diciembre de 2019). Caracterización Mecánica de Suelos del Perfil Costero entre Ancón y Anconcito. *UNEMI, XII(31)*, 40-53. doi:ISSN 2528-7737 Electrónico

Norma Ecuatoriana de Construcción. (2015). *PELIGRO SÍSMICO- Diseño Sismo Resistente*. Ecuador: Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda. Obtenido de <https://www.habitatyvivienda.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2015/02/NEC-SE-DS-Peligro-S%C3%ADsmico-parte-1.pdf>

Norma Ecuatoriana de la Construcción. (2014). *Cargas (No sísmicas)*. Ecuador: Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda. Obtenido de <https://www.habitatyvivienda.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2015/02/NEC-SE-CG-Cargas-S%C3%ADsmicas.pdf>

Norma Ecuatoriana de la Construcción. (2015). *Riesgo sísmico, evaluación, rehabilitación de estructuras*. Ecuador: Ministerio de Desarrollo Urbano y Viviendo (MIDUVI).

Norma Ecuatoriana de la Construcción. (2016). *Guía práctica para el diseño de estructuras de madera*. Quito: Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda.

Olsson, A. (1940). Tertiary deposits of northwestern South America and Panama. En D. o. State, *Proceedings of the Eighth American Scientific Congress* (Vol. IV, págs. 231-287). Washington: Secretariat of the Eighth American Scientific Congress. Obtenido de <https://books.google.com.ec/books?id=mP7UAAAAMAAJ&pg=PA229&dq=Olsson,+A.+A.,+1942.+%E2%80%9CTertiary+deposits+of+northwestern+South+America+and+Panama,%E2%80%9D+8th+Am.+Sci.+Congr.,+Proc.+Geol.+Sci.,+Washington,+1940,+4,+231%E2%80%93287.&lr=&hl=es&source=>

Organo del Gobierno del Ecuador. (15 de Agosto de 2007). Suplemento del Registro Oficial N° 148. *Registro Oficial N° 148*.

Pacheco, G. (2013). *Estructuración de una guía metodológica para la inspección, diagnóstico y mantenimiento de los muelles de puertos a partir del caso muelles*

- del puerto de Guayaquil*. Guayaquil, Ecuador: Universidad Católica Santiago de Guayaquil.
- Pipinato, A. (2016). Innovative Bridge Design Handbook. En A. Pipinato, & A. Pipinato (Ed.), *Innovative Bridge Design Handbook. Construction, Rehabilitation and Maintenance* (págs. 819-844). Waltham, Massachussets, USA: Elsevier-Butterworth Heinemann. doi:10.1016/B978-0-12-800058-8.00005-0
- Sargent, R. G. (1 de Mayo de 2015). *Modeling and Simulation in the Systems Engineering Life Cycle*. . doi:10.1007/978-1-4471-5634-5_5
- Subsecretaria de Puertos y Transporte Marítimo y Fluvial. (2019). *Normas y requisitos en la prestación del servicio de practicaje*. Ecuador: Ministerio de Transporte y Obras Públicas. Obtenido de <http://www.puertodeguayaquil.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/files/normasyrequisitosenelaprestaciondelserviciodepracticaje.pdf>
- Toffolo. (s.f.). *Toffolo Materiaux*. Obtenido de TAPAJUNTA PARASISMICA PARA SUELO GAMA W : <http://www.toffolo-materiaux.com/uploads/produits/TAPAJUNTA%20PARASISMICA%20GAMA%20SUELO%20W.pdf>
- U.S. Army Corps of Engineers. (2015). *Coastal Engineering Manual - Part II*. Washington, DC: U.S. Army Corps of Engineers.
- Vera S., L., & Marín V., S. (2015). Clima de olas en la zona ecuatorial con información satelital. *Acta Oceanografía del Pacífico*, XX(1), 45-56.
- Vera, L., Lucero, M., & Mindiola, M. (2009). Caracterización oceanográfica de la costa central ecuatoriana entre la Punta del Morro y Jaramijó, Ecuador. *Acta Oceanográfica del Pacífico*, 7-17.
- Villacrés, A., Lastra, F., & Castillo, W. (2018). *ESTUDIO DE DISEÑO DEFINITIVO PARA LA IMPLEMENTACION DEL SITEMA DE SERVICIO DE TRÁFICO MARÍTIMO VTS*. Redes S.A. Data Villamil: Autoridad Portuaria de Guayaquil.

APÉNDICES

APÉNDICE A

FUERZAS INTERNAS DE LOS PILOTES

Tabla 0.1 Momento y cortante de los pilotes. Resultados del modelo en SAP2000. Tramo 1. (Autores, 2020)

Obj. ID	Pu (Tonf)	Vu 2-2 (Tonf)	Vu 3-3 (Tonf)	Mu 3-3 (Tonf*m)	Mu 2-2 (Tonf*m)
288	7.28	12.49	0.71	0.54	8.49
290	4.98	9.23	0.50	0.46	6.84
291	5.19	4.85	0.95	0.94	4.99
292	6.04	3.58	1.78	2.10	4.41
293	7.09	2.75	2.55	3.58	3.97
294	8.06	2.39	3.21	5.02	3.82
296	8.71	1.99	3.34	5.82	3.54
297	9.28	1.85	3.56	6.60	3.50
298	9.62	1.65	3.56	7.10	3.35
299	10.47	1.50	3.79	7.97	3.22
300	11.70	1.70	4.91	10.35	3.55
301	14.65	1.57	6.11	13.21	2.94

Tabla 0.2 Momento y cortante de los pilotes. Resultados del modelo en SAP2000. Tramo 2. (Autores, 2020)

Obj. ID	Pu (Tonf)	Vu 2-2 (Tonf)	Vu 3-3 (Tonf)	Mu 3-3 (Tonf*m)	Mu 2-2 (Tonf*m)
288	13.34	4.20	3.12	9.52	6.6501
290	10.79	4.62	2.80	10.13	5.9756
291	10.97	3.56	2.26	8.55	5.2036
292	11.16	3.49	2.44	8.45	5.6784
293	11.36	2.49	2.08	6.75	5.4571
294	11.93	2.09	2.22	6.03	6.1933
296	12.42	1.47	2.02	4.78	6.3824
297	13.46	1.32	2.35	4.46	7.7139
298	13.78	1.33	2.90	4.45	9.6395
299	16.13	1.03	2.58	3.78	9.5711

Tabla 0.3 Momento y cortante de los pilotes. Resultados del modelo en SAP2000. Tramo 3. (Autores, 2020)

Obj. ID	Pu (Tonf)	Vu 2-2 (Tonf)	Vu 3-3 (Tonf)	Mu 3-3 (Tonf*m)	Mu 2-2 (Tonf*m)
315	21.17	3.92	3.96	6.14	15.70
316	16.55	3.65	2.95	15.53	12.27
317	16.26	3.58	2.63	15.19	10.97
318	15.52	3.03	2.14	13.57	9.44
319	16.04	3.22	2.45	14.16	10.60
320	16.16	2.34	2.03	11.44	9.80
321	17.36	2.46	2.54	11.83	12.06
322	18.46	2.18	2.67	10.92	13.19
323	19.15	2.28	3.21	11.26	15.74
324	22.62	2.02	3.37	10.38	17.36

APÉNDICE B

RUBROS

ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS

NOMBRE DE PROYECTO:

ANÁLISIS Y DIAGNÓSTICO DEL ESTADO ESTRUCTURAL DEL MUELLE DE PRÁCTICOS (APG)

Hoja 1 de 14

CODIGO:

DESCRIPCION:

DERROCAMIENTO DE HORMIGÓN

DETALLE:

UNIDAD: U

EQUIPOS						
DESCRIPCION	CANTIDAD	TARIFA	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO	
	A	B	C = A x B	R	D = C x R	
Herramienta Menor					5.95	
Martillo neumático	1.00	4.50	4.50	8.57		
Panga	1.00	25.00	25.00	8.57	214.29	
SUBTOTAL M					119.08	
MANO DE OBRA						
DESCRIPCION	CANTIDAD	JORNAL /HR	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO	
	A	B	C = A x B	R	D = C x R	
Maestro de Obra	1.00	3.66	3.66	8.57	31.37	
Peón	3.00	3.41	10.23	8.57	87.69	
TOTAL COSTO DIRECTO (M+N+O+P)					377.87	
INDIRECTO %				22.00	76.67	
ESTOS PRECIOS NO INCLUYEN EL IVA					Otros costos indirectos	37.79
COSTO TOTAL DEL RUBRO:					491.23	
VALOR OFERTADO:					491.23	

ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS

NOMBRE DE PROYECTO:

ANÁLISIS Y DIAGNÓSTICO DEL ESTADO ESTRUCTURAL DEL MUELLE DE PRÁCTICOS (APG)

Hoja 2 de 14

CODIGO:

2

DESCRIPCION:

HORMIGÓN ARMADO DE VIGAS EN VOLADIZO F'C=350KG/CM2 0.3X2.44M

DETALLE:

UNIDAD: U

EQUIPOS					
DESCRIPCION	CANTIDAD	TARIFA	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO
	A	B	C = A x B	R	D = C x R
Herramientas menores					3.79
Concreteira	1.00	5.00	5.00	2.00	10.00
Vibrador	2.00	2.50	5.00	2.00	10.00
Panga	1.00	25.00	25.00	2.00	50.00
SUBTOTAL M					73.79
MANO DE OBRA					
DESCRIPCION	CANTIDAD	JORNAL /HR	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO
	A	B	C = A x B	R	D = C x R
Maestro de Obra	1.00	3.66	3.66	2.00	7.32
Albañil	4.00	3.45	3.45	2.00	27.60
Peón	6.00	3.41	3.41	2.00	40.92
SUBTOTAL N					76.84
MATERIALES					
DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	P. UNITARIO	COSTO	
		A	B	C = A x B	
Cemento Hidraulico tipo GU	saco	5.00	7.50	37.50	
Arena	m3	0.25	20.00	4.92	
Piedra 3/4"	m3	0.37	18.00	6.72	
Agua	m3	0.22	1.20	0.26	

Sikadur 32 prime	kg	1.00	25.00	25.00
Impermeabilizante	kg	7.77	10.00	77.70
Acelerante plastocrete	kg	5.50	12.00	66.00
Brocha 3"	u	2.0000	4.00	8.00
SUBTOTAL O				228.10
TRANSPORTE				
ESTOS PRECIOS NO INCLUYEN EL IVA	TOTAL COSTO DIRECTO (M+N+O+P)			376.73
	INDIRECTO %			22.00 76.16
	OTROS COSTOS INDIRECTOS			37.67
	COSTO TOTAL DEL RUBRO:			488.46
	VALOR OFERTADO:			488.46

ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS

NOMBRE PROYECTO: DE ANÁLISIS Y DIAGNÓSTICO DEL ESTADO ESTRUCTURAL DEL MUELLE DE PRÁCTICOS (APG)

Hoja 04 de 14

CODIGO: 4

DESCRIPCION: HIERRO EN VIGAS

DETALLE: UNIDAD: kg

EQUIPOS					
DESCRIPCION	CANTIDAD	TARIFA	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO
	A	B	C = A x B	R	D = C x R
Herramientas menores					0.05
Motosoldadora	1.00	10.00	10.00	0.05	0.50
Panga	1.00	25.00	25.00	0.05	1.25
Cortadora Dobladora de Hierro	1.00	1.50	1.50	0.05	0.08
SUBTOTAL M					1.88
MANO DE OBRA					
DESCRIPCION	CANTIDAD	JORNAL /HR	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO
	A	B	C = A x B	R	D = C x R
Maestro de Obra	0.20	3.66	0.73	0.05	0.04
Fierrero	1.00	3.45	3.45	0.05	0.17
Peón	4.00	3.41	13.64	0.05	0.68
Soldador	1.00	3.66	3.66	0.05	0.18
SUBTOTAL N					1.07
MATERIALES					
DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	P. UNITARIO	COSTO	
		A	B	C = A x B	
Acero de refuerzo fy= 4200 kg/cm2	kg	1.00	3.20	3.20	
Anticorrosivo de protección para acero de refuerzo	kg	0.23	12.00	2.76	
Soldadura 6011	kg	1.00	3.50	3.50	
Soldadura 7018	kg	2.00	4.10	8.20	
Brocha 3"	u	0.06	4.00	0.24	
SUBTOTAL O					17.90
TOTAL COSTO DIRECTO (M+N+O)					20.86

ESTOS PRECIOS NO INCLUYEN EL IVA

INDIRECTO %	22.00	4.59
COSTO TOTAL DEL RUBRO:		25.45
VALOR OFERTADO:		25.45

ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS

NOMBRE PROYECTO: DE ANÁLISIS Y DIAGNÓSTICO DEL ESTADO ESTRUCTURAL DEL MUELLE DE PRÁCTICOS (APG)

Hoja 05 de 14

CODIGO: 5

DESCRIPCION: ENCOFRADO DE VIGAS

DETALLE: **UNIDAD:** m2

EQUIPOS					
DESCRIPCION	CANTIDAD	TARIFA	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO
	A	B	C = A x B	R	D = C x R
Herramientas menores					2.31
Panga	1.00	25.00	25.00	2.22	55.56
SUBTOTAL M					67.87
MANO DE OBRA					
DESCRIPCION	CANTIDAD	JORNAL /HR	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO
	A	B	C = A x B	R	D = C x R
Maestro de Obra	1.00	3.66	3.66	2.22	8.13
Carpintero	2.00	3.45	6.90	2.22	15.33
Peón	3.00	3.41	10.23	2.22	22.73
SUBTOTAL N					46.19
MATERIALES					
DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	P. UNITARIO	COSTO	
		A	B	C = A x B	
Plywood marino	u	0.33	55.00	18.15	
Cuartones semiduros	u	1.11	3.25	3.61	
Tiras semiduras	u	0.56	2.00	1.12	
Clavos de alambre de 2 1/2"	kg	0.51	1.50	0.76	
Cañas	u	1.10	2.30	2.53	
SUBTOTAL O					26.17
TOTAL COSTO DIRECTO (M+N+O)					130.23
INDIRECTO %					22.00
COSTO TOTAL DEL RUBRO:					158.88
VALOR OFERTADO:					158.88

ESTOS PRECIOS NO INCLUYEN EL IVA

ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS

NOMBRE DE PROYECTO: ANÁLISIS Y DIAGNÓSTICO DEL ESTADO ESTRUCTURAL DEL MUELLE DE PRÁCTICOS (APG)

Hoja 06 de 14

CODIGO: 6

DESCRIPCION: OBRA FALSA

DETALLE: **UNIDAD:** m2

EQUIPOS					
DESCRIPCION	CANTIDAD	TARIFA	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO
	A	B	C = A x B	R	D = C x R
Herramientas menores					1.38
Panga	1.00	25.00	25.00	1.00	25.00
SUBTOTAL M					26.38
MANO DE OBRA					
DESCRIPCION	CANTIDAD	JORNAL /HR	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO
	A	B	C = A x B	R	D = C x R
Maestro de Obra	1.00	3.66	3.66	2.22	3.66
Albañil	2.00	3.45	6.90	2.22	6.90
Peón	3.00	3.41	10.23	2.22	10.23
Carpintero	2.00	3.45	6.90	1.00	6.90
SUBTOTAL N					27.89
MATERIALES					
DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	P. UNITARIO	COSTO	
		A	B	C = A x B	
Viga chanul (4"x8"x6m)	u	18.00	140.00	2,520.00	
Viga chanul (4"x8"x7m)	u	4.00	160.00	640.00	
Varilla llsa(5/8"x6m)	u	20.00	5.00	100.00	
Varilla llsa(5.5mm"x6m)	u	20.00	3.00	60.00	
Cuarton de chanul (4"x4"x6m)	u	12.00	50.00	600.00	
Tablas semiduras		40.00	5.50	220.00	

Clavos de alambre de 2 a/2"	kg	6.80	1.50	10.20
Clavos de alambre de 4"	kg	4.50	2.50	11.25
Pernos, tuercas, anillos de presión, etc	u	200.00	6.50	1,300.00
Cañas	u	10.00	2.30	23.00
SUBTOTAL O				6,484.46
TOTAL COSTO DIRECTO (M+N+O)				6,484.46
INDIRECTO %				22.00
				1,426.58
ESTOS PRECIOS NO INCLUYEN EL IVA				
COSTO TOTAL DEL RUBRO:				7,911.04
VALOR OFERTADO:				7,911.04

ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS

NOMBRE DE PROYECTO: ANÁLISIS Y DIAGNÓSTICO DEL ESTADO ESTRUCTURAL DEL MUELLE DE PRÁCTICOS (APG)

Hoja 07 de 14

CODIGO: 7

DESCRIPCION: INSTALACIÓN DE PASAMANOS NUEVOS DEL MUELLE

DETALLE: **UNIDAD:** ml

EQUIPOS					
DESCRIPCION	CANTIDAD	TARIFA	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO
	A	B	C = A x B	R	D = C x R
Herramientas menores					0.85
Compresor	1.00	18.00	18.00	0.69	12.36
Motosoldadora	1.00	10.00	10.00	0.69	6.87
Cortadora Dobladora de Hierro	1.00	1.50	1.50	0.69	1.03
SUBTOTAL M					21.11
MANO DE OBRA					
DESCRIPCION	CANTIDAD	JORNAL /HR	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO
	A	B	C = A x B	R	D = C x R
Maestro de Obra	1.00	3.66	3.66	0.69	2.51
Pintor	1.00	3.45	3.45	0.69	2.37
Soldador	2.00	3.66	7.32	0.69	5.03
Ayudante del soldador	3.00	3.41	10.23	0.69	7.03
SUBTOTAL N					16.94
MATERIALES					
DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	P. UNITARIO	COSTO	
		A	B	C = A x B	
Placa(6"x6"x12mm)	u	0.76	35.00	26.60	
Tubo galvanizado de 2"	u	1.00	20.00	20.00	
Soldadura 6011	kg	1.00	3.50	3.50	
Pernos (1/2"x 2x 2 1/2"=	u	3.02	0.65	1.96	
Pintura epóxica y de protección	gl	1.25	20.00	25.00	
Brocha 3"	u	3.00	4.00	12.00	
SUBTOTAL O					89.08
TOTAL COSTO DIRECTO (M+N+O)					127.11
INDIRECTO %					22.00
COSTO TOTAL DEL RUBRO:					155.07
VALOR OFERTADO:					155.07

ESTOS PRECIOS NO INCLUYEN EL IVA

ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS

NOMBRE PROYECTO: DE ANÁLISIS Y DIAGNÓSTICO DEL ESTADO ESTRUCTURAL DEL MUELLE DE PRÁCTICOS (APG)

Hoja 08 de 14

CODIGO: 8

DESCRIPCION: DESMONTAJE DE CUARTONES Y DUELAS DE PISO

DETALLE: **UNIDAD:** m2

EQUIPOS					
DESCRIPCION	CANTIDAD	TARIFA	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO
	A	B	C = A x B	R	D = C x R
Herramientas menores					1.01
Panga	0.20	25.00	5.00	0.97	4.95
SUBTOTAL M					6.88
MANO DE OBRA					
DESCRIPCION	CANTIDAD	JORNAL /HR	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO
	A	B	C = A x B	R	D = C x R
Maestro de Obra	1.00	3.66	3.66	0.97	3.55
Carpintero	2.00	3.45	6.90	0.97	6.69
Peón	4.00	3.41	13.64	0.97	9.92
SUBTOTAL N					20.18
TOTAL COSTO DIRECTO (M+N+O)					27.06
INDIRECTO %					22.00
COSTO TOTAL DEL RUBRO:					33.01
VALOR OFERTADO:					33.01

ESTOS PRECIOS NO INCLUYEN EL IVA

ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS

NOMBRE DE PROYECTO: ANÁLISIS Y DIAGNÓSTICO DEL ESTADO ESTRUCTURAL DEL MUELLE DE PRÁCTICOS (APG)

Hoja 9 de 14

CODIGO: 9

DESCRIPCION: INSTALACIÓN DE CUBREJUNTAS EN SEPARACIONES

DETALLE: UNIDAD: ML

EQUIPOS					
DESCRIPCION	CANTIDAD	TARIFA	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO
	A	B	C = A x B	R	D = C x R
Herramientas menores	1.00	1.00	1.00	0.49	0.49
SUBTOTAL M					0.49
MANO DE OBRA					
DESCRIPCION	CANTIDAD	JORNAL /HR	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO
	A	B	C = A x B	R	D = C x R
Maestro mayor en ejecución de obras civiles	1.00	4.01	4.01	0.49	1.97
Instalador en general	1.00	3.62	3.62	0.49	1.78
Peón	2.00	3.58	7.16	0.49	3.52
SUBTOTAL N					7.27
MATERIALES					
DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	P. UNITARIO	COSTO	
		A	B	C = A x B	
Cubre juntas metalico	ml	1.00	60.00	60.00	
Accesorios de fijacion	kg	0.30	15.00	4.50	
SUBTOTAL O					72.26
SUBTOTAL P					-
TOTAL COSTO DIRECTO (M+N+O+P)					72.26
INDIRECTO %					22.00
UTILIDAD					
COSTO TOTAL DEL RUBRO:					88.16
VALOR OFERTADO:					88.16

ESTOS PRECIOS NO INCLUYEN EL IVA

ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS

NOMBRE DE PROYECTO: ANÁLISIS Y DIAGNÓSTICO DEL ESTADO ESTRUCTURAL DEL MUELLE DE PRÁCTICOS (APG)

Hoja 10 de 14

CODIGO: 10
DESCRIPCION: REEMPLAZO DE TUBERIAS
DETALLE:

UNIDAD: ml

EQUIPOS					
DESCRIPCION	CANTIDAD	TARIFA	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO
	A	B	C = A x B	R	D = C x R
Herramientas menores					0.20
SUBTOTAL M					0.20
MANO DE OBRA					
DESCRIPCION	CANTIDAD	JORNAL /HR	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO
	A	B	C = A x B	R	D = C x R
Maestro de Obra	0.20	3.66	0.73	0.36	0.26
Plomero	1.00	3.45	3.45	0.36	1.23
Peón	2.00	3.41	6.82	0.36	2.44
SUBTOTAL N					3.93
MATERIALES					
DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	P. UNITARIO	COSTO	
		A	B	C = A x B	
Tubería 1" AAPP	u	0.30	10.00	3.00	
Codo 1"	u	3.00	2.00	6.00	
Pegante	gl	0.05	0.50	0.03	
Uniones	u	9.00	1.20	10.80	
SUBTOTAL O					19.83
TOTAL COSTO DIRECTO (M+N+O)					23.96
INDIRECTO %					5.27
					22.00
COSTO TOTAL DEL RUBRO:					29.23
VALOR OFERTADO:					29.23

ESTOS PRECIOS NO INCLUYEN EL IVA

ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS

NOMBRE DE PROYECTO: ANÁLISIS Y DIAGNÓSTICO DEL ESTADO ESTRUCTURAL DEL MUELLE DE PRÁCTICOS (APG)

Hoja 11 de 14

CODIGO: 11

DESCRIPCION: MONTAJE DE CUARTONES Y DUELAS

DETALLE: **UNIDAD:** ml

EQUIPOS					
DESCRIPCION	CANTIDAD	TARIFA	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO
	A	B	C = A x B	R	D = C x R
Herramientas menores					0.24
Panga	1.00	25.00	25.00	0.20	5.00
Cortadora de disco	1.00	2.50	2.50	0.20	0.50
SUBTOTAL M					6.74
MANO DE OBRA					
DESCRIPCION	CANTIDAD	JORNAL /HR	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO
	A	B	C = A x B	R	D = C x R
Maestro de Obra	1.00	3.66	3.66	0.20	0.73
Carpintero	2.00	3.45	6.90	0.20	1.38
Peón	4.00	3.41	13.64	0.20	2.73
SUBTOTAL N					4.84
MATERIALES					
DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	P. UNITARIO	COSTO	
		A	B	C = A x B	
Tablones de (1 1/2"x3"x6m)	u	1.83	15.00	27.50	
Cuartones (4"x6"x6m)	u	0.33	22.50	7.50	
Platina de(2 1/2"x1/4")galvanizadas	u	0.50	1.00	0.50	
Pernos(5/8x9") galvanizadas	u	1.76	3.65	6.42	
Pintura para madera	gl	0.02	15.50	0.24	
Brocha 3"	u	0.20	4.00	0.80	
SUBTOTAL O					42.96
TOTAL COSTO DIRECTO (M+N+O)					63.64
INDIRECTO %					22.00
COSTO TOTAL DEL RUBRO:					77.64
VALOR OFERTADO:					77.64

ESTOS PRECIOS NO INCLUYEN EL IVA

ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS

NOMBRE DE PROYECTO: ANÁLISIS Y DIAGNÓSTICO DEL ESTADO ESTRUCTURAL DEL MUELLE DE PRÁCTICOS (APG)

Hoja 12 de 14

CODIGO: 12

DESCRIPCION: MONTAJE Y CONEXIÓN DE LUMINARIAS

DETALLE: **UNIDAD:** u

EQUIPOS					
DESCRIPCION	CANTIDAD	TARIFA	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO
	A	B	C = A x B	R	D = C x R
Herramientas menores					1.10
SUBTOTAL M					1.10
MANO DE OBRA					
DESCRIPCION	CANTIDAD	JORNAL /HR	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO
	A	B	C = A x B	R	D = C x R
Maestro de Obra	0.20	3.66	0.73	2.00	1.46
Electricista	1.00	3.45	3.45	2.00	6.90
Peón	2.00	3.41	6.82	2.00	13.64
SUBTOTAL N					22.00
MATERIALES					
DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	P. UNITARIO	COSTO	
		A	B	C = A x B	
Lámpara de 110 V	u	18.00	25.00	450.00	
Reflectores de 240 V	u	3,000.00	65.00	195.00	
Tubo galvanizado de 2"	u	3.00	20.00	60.00	
Cable #4	rollo	1.00	40.00	40.00	
SUBTOTAL O					746.00
TOTAL COSTO DIRECTO (M+N+O)					768.10
INDIRECTO %					22.00
COSTO TOTAL DEL RUBRO:					937.08
VALOR OFERTADO:					937.08

ESTOS PRECIOS NO INCLUYEN EL IVA

ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS

NOMBRE PROYECTO: DE ANÁLISIS Y DIAGNÓSTICO DEL ESTADO ESTRUCTURAL DEL MUELLE DE PRÁCTICOS (APG)

Hoja 13 de 14

CODIGO: 13

DESCRIPCION: DESALOJO DEL MATERIAL

DETALLE: **UNIDAD:** M3

EQUIPOS					
DESCRIPCION	CANTIDAD	TARIFA	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO
	A	B	C = A x B	R	D = C x R
Herramienta Menor					9.65
Panga	1.00	25.00	25.00	8.00	200.00
SUBTOTAL M					209.86
MANO DE OBRA					
DESCRIPCION	CANTIDAD	JORNAL /HR	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO
	A	B	C = A x B	R	D = C x R
Maestro de Obra	1.00	3.66	3.66	8.00	29.28
Peón	6.00	3.41	20.46	8.00	163.68
SUBTOTAL N					192.98
TOTAL COSTO DIRECTO (M+N+O)					402.81
INDIRECTO %					22.00
ESTOS PRECIOS NO INCLUYEN EL IVA					
COSTO TOTAL DEL RUBRO:					491.43
VALOR OFERTADO:					491.43

ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS

NOMBRE DE PROYECTO:

ANÁLISIS Y DIAGNÓSTICO DEL ESTADO ESTRUCTURAL DEL MUELLE DE PRÁCTICOS (APG)

Hoja 14 de 14

CODIGO: 14

DESCRIPCION: REEMPLAZO DE LINEAS DE AMARRE EN MUELLE FLOTANTE

DETALLE: **UNIDAD:** M3

EQUIPOS					
DESCRIPCION	CANTIDAD	TARIFA	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO
	A	B	C = A x B	R	D = C x R
Herramienta Menor					290.70
Equipos de oxicorte	1	5.56	5.56	120.00	667.20
Dobladora de tubos	2	3.5	3.5	120.00	840.00
Equipo de buceo	1	5.7	5.7	120.00	684.00
Amoldadora	0.5	7	3.5	120.00	420.00
Moto soldadora	1	10	10	120.00	1,200.00
Lancha con Motor	1	25	25	120.00	3,000.00
Grua 60 ton	2	30	30	120.00	7,200.00
Compresor	1	18	18	120.00	2,160.00

SUBTOTAL M 16,461.90

MANO DE OBRA					
DESCRIPCION	CANTIDAD	JORNAL /HR	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO
	A	B	C = A x B	R	D = C x R
Soldador	1.00	4.01	4.01	120.00	1,317.60
Maestro de Obra	1.00	3.62	3.62	120.00	439.20
Op.Equipos Grupo I	2.00	3.58	7.16	120.00	44.40
Operador de lancha	0.20	3.38	10.98	120.00	81.60
Buzo	2.00	9.56	3.66	120.00	2,294.40
Ayudante del soldador	4.00	3.41	0.37	120.00	1,636.80

SUBTOTAL N 7.27

MATERIALES					
DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	P. UNITARIO	COSTO	
		A	B	C = A x B	
Grata de acero	u	30	15.00	15	450.00
Disco de pulir	u	10	4.50	4.5	45.00
Soldadura 6011	kg	70	3.50	3.5	245.00
Diluyente	ltr	12	6.50	6.5	78.00
Brocha 4"	u	4	4.50	4.5	18.00
Grillete fijos 1 1/2"	u	4.00	85.00	85.00	340.00
Cadena de 3 1/2"	ml	4.00	400.00	400.00	1,600.00

SUBTOTAL 2,776.00

ESTOS PRECIOS NO INCLUYEN EL IVA

TOTAL COSTO DIRECTO (M+N+O+P)	19,245.17
INDIRECTO %	22.00
UTILIDAD	
COSTO TOTAL DEL RUBRO:	23,479.11
VALOR OFERTADO:	23,479.11

APÉNDICE C

FOTOGRAFÍAS DE CAMPO (8 DE JULIO DEL 2020)



Figura A



Figura B



Figura C



Figura D

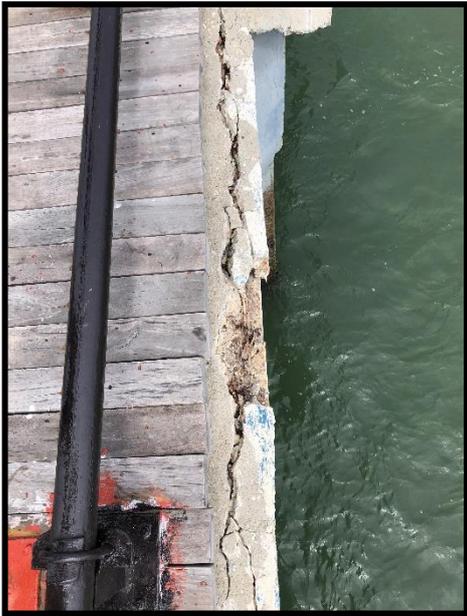


Figura E

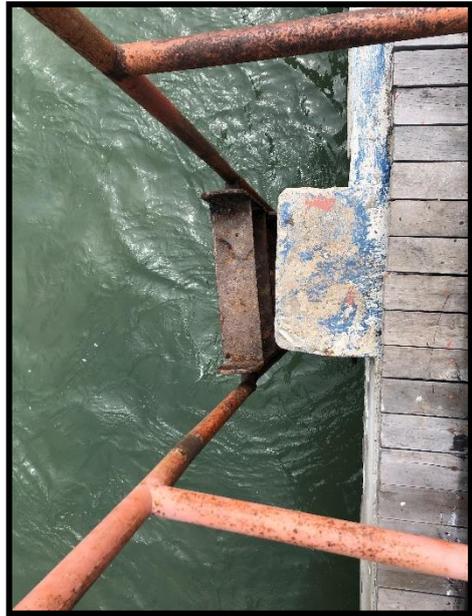


Figura F



Figura G



Figura H



Figura I



Figura J



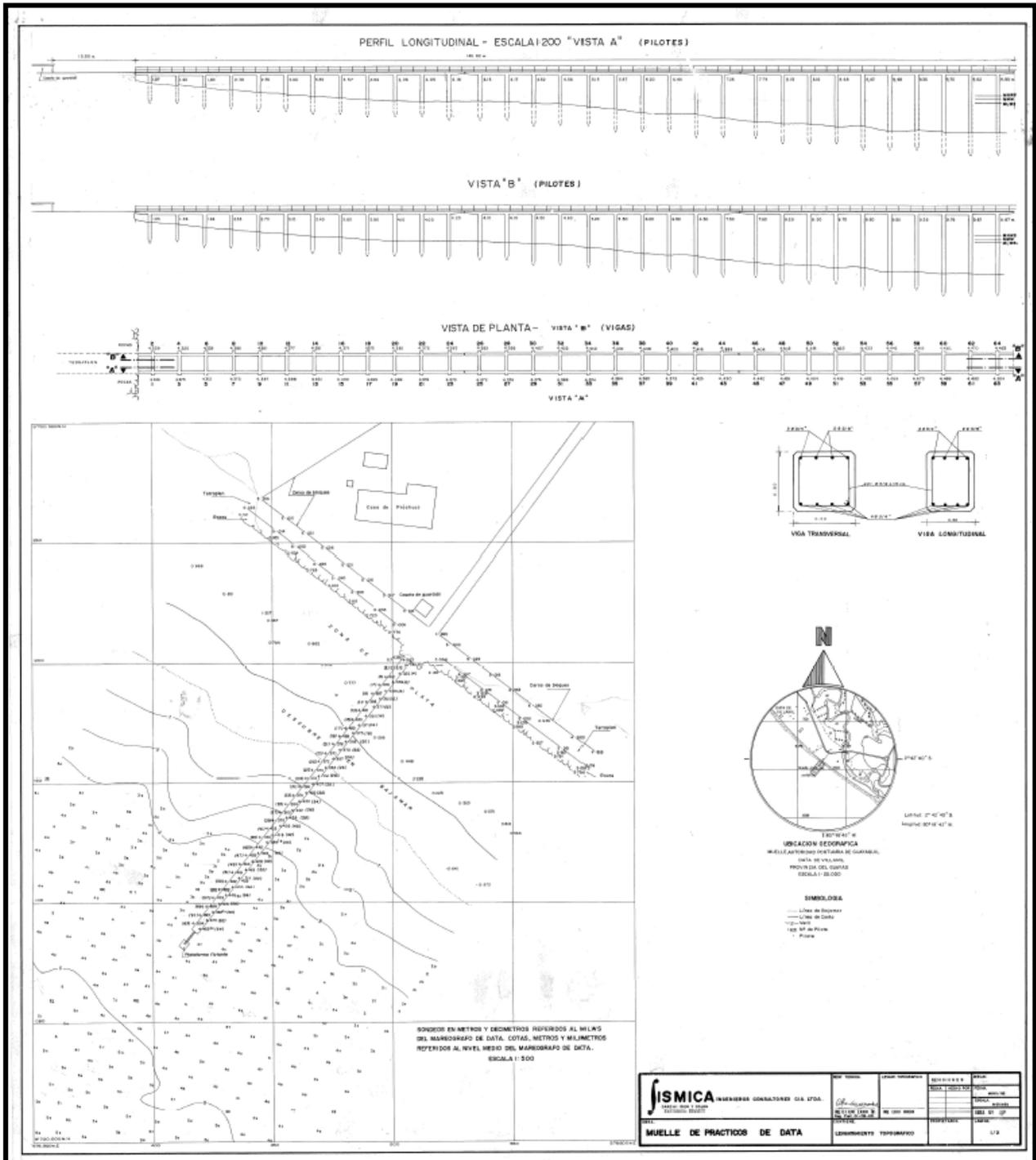
Figura K

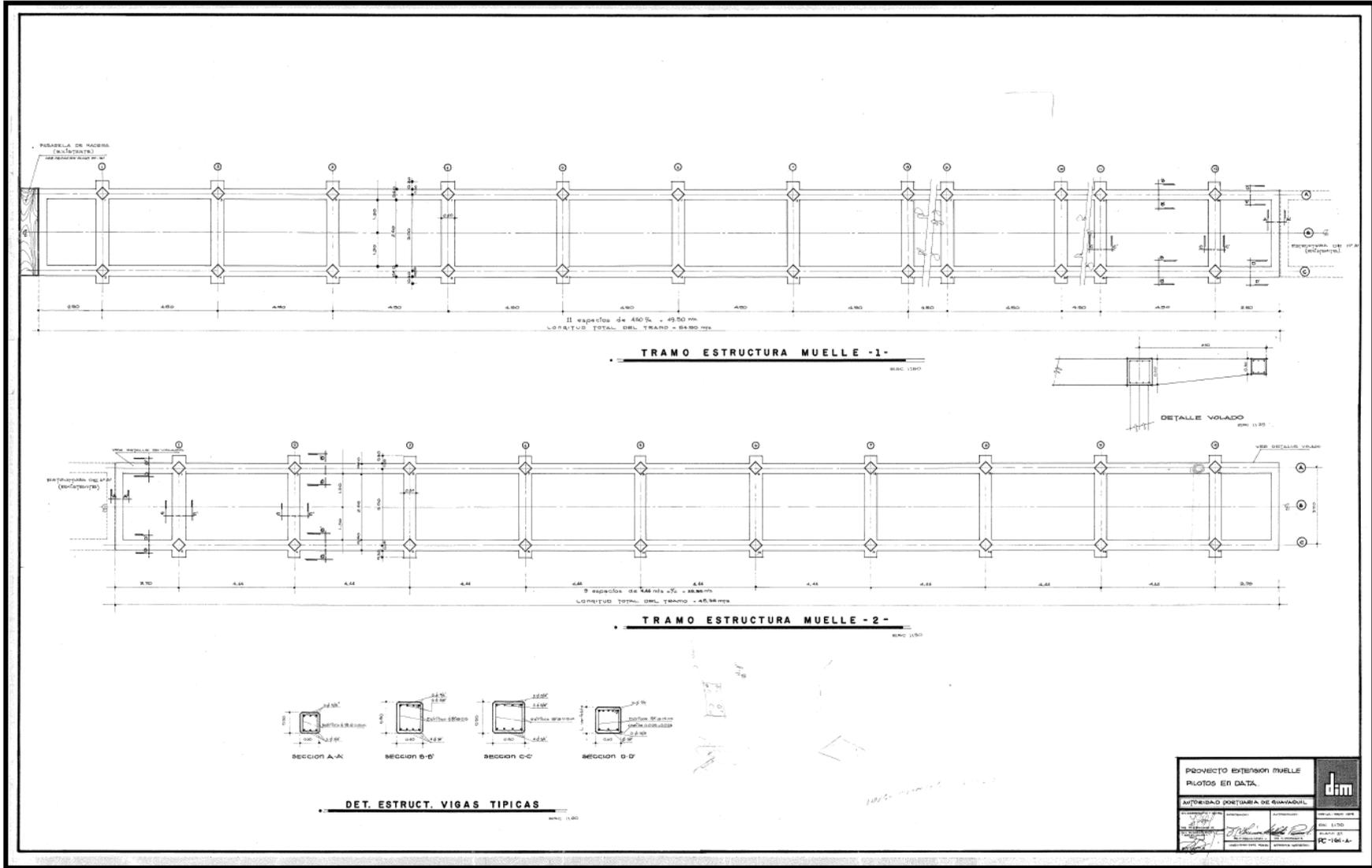


Figura L

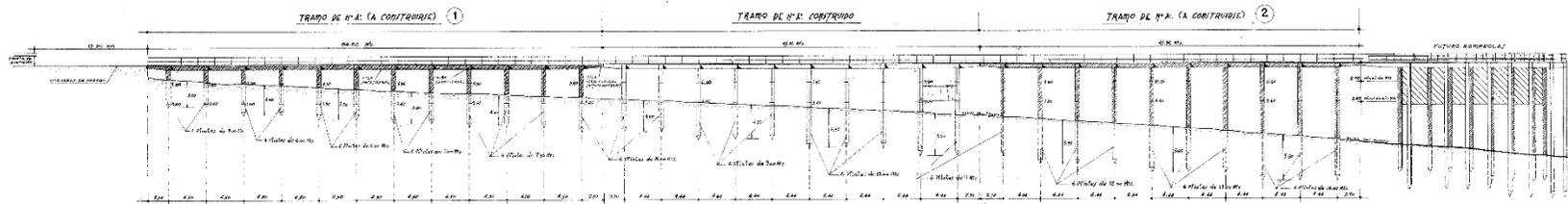
APÉNDICE D

PLANOS

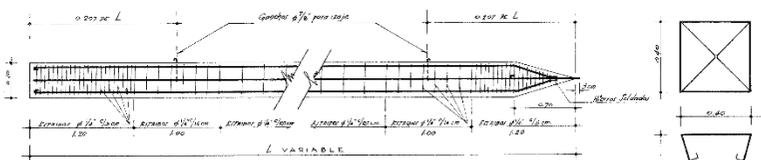




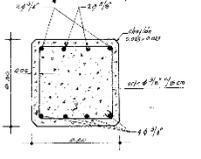
PROYECTO EXTENSION MUELLE		
PLOTOS EN DATA		
AUTORIDAD PORTUARIA DE GUAYAQUIL		
PROYECTO: EXTENSION MUELLE PLOTOS EN DATA	AUTORIZACION: 	FECHA: 11/05/2010 ESCALA: 1:100 PLAN: 100-11 PC-100-A



PERFIL LONGITUDINAL
Elev. 11200



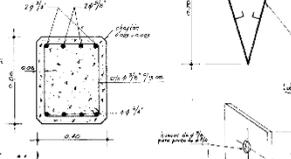
Sección Longitudinal del Pileta
Elev. 1120



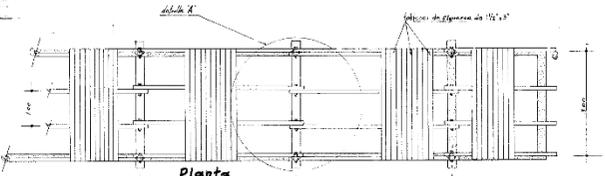
Viga Transversal (Sección)
Elev. 1110

$f_c = 280 \text{ Kg/cm}^2$
 $f_y = 2.800 \text{ Kg/cm}^2$ (Acero corrugado)

Viga Longitudinal (Sección)
Elev. 1110



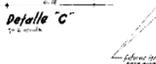
Sección del Pileta
Elev. 1110



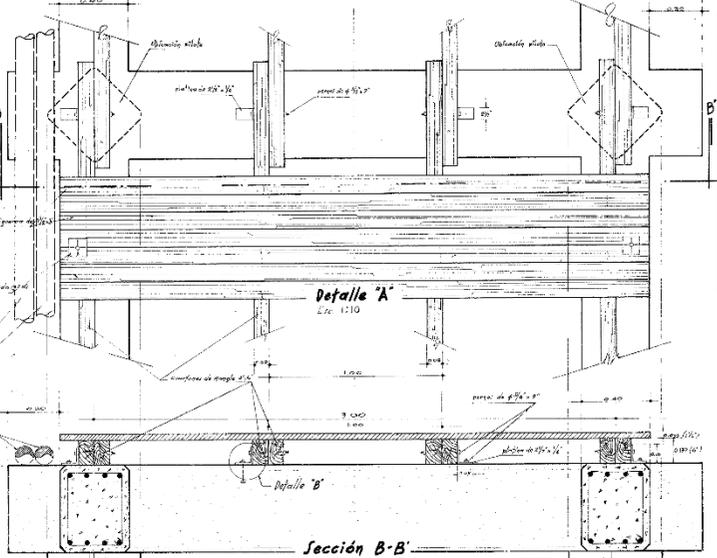
Planta
Elev. 1110



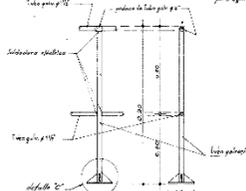
Detalle "B"
Elev. 1110



Detalle "C"
Elev. 1110

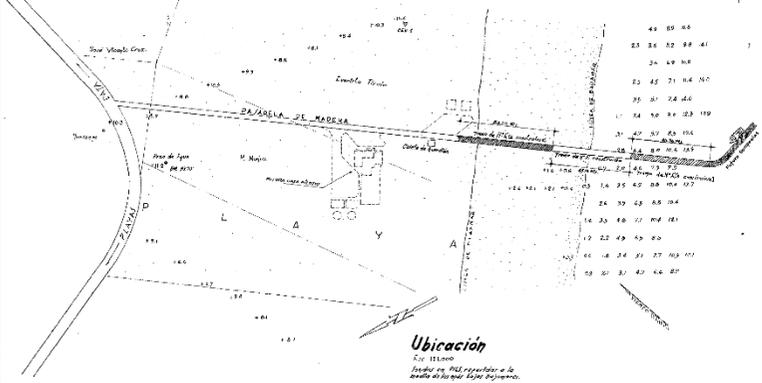


Detalle "A"
Elev. 1110



Pilares para baranda
Elev. 1110

Sección B-B'
Elev. 1110



Ubicación
Elev. 1110

PROYECTO DE EXTENSION DE TRAYECTORIA DE TUBERIAS DE 50" PARA EMBARCADERO DE PILOTOS-DATA		
AUTORIDAD: (INTE) LUZARDO, GUAYAMAQUE		
DISEÑO: [Signature] REVISOR: [Signature]	APROBADO: [Signature] INGENIERO EN CARRETERAS	PLAN: [Signature] INGENIERO EN CARRETERAS
ESCALA: 1:100		PC-161