



KFW



PROYECTO DE CONSERVACIÓN DE RECURSOS MARINOS EN CENTROAMÉRICA FASE II

Convenio de Financiación: (BMZ 2007 66 667)

Obra de contención en el Cayo Twin, de la Reserva Marina South Water Caye, Belice

España, Junio 2017

Autor: TYP SA

Realizado con la asistencia técnica de:



www.typsa.es

Este informe fue preparado con la asistencia financiera de KfW y contratado por Typsa SA. Los puntos de vista expresados en este informe son los del experto independiente y no reflejan necesariamente los de KfW, TYP SA, MAR Fund, los Fondos Miembro o de las entidades responsables de ejecución de las Áreas Protegidas Marina Costeras (APMC).

■ **ÍNDICE**

1. INTRODUCCIÓN	3
1.1. ANTECEDENTES	3
1.2. LOCALIZACIÓN	3
1.3. OBJETIVO	4
2. RECOPIACIÓN DE LA INFORMACIÓN	5
3. DESCRIPCIÓN DE LA SITUACIÓN ACTUAL TWIN CAYES	5
4. SOLUCIONES CONSIDERADAS FRENTE A LA EROSIÓN EN CAYOS CERCANOS	8
4.1. INTRODUCCIÓN	8
4.2. LOCALIZACIÓN DE LAS DISTINTAS VISITAS DE CAMPO	8
4.3. RAGGED CAYE	8
4.4. RAGGA CAYE	10
4.5. COCOPLUM CAYE	11
4.6. THATCH CAYE	13
4.7. DEVOND ISLAND	13
4.8. SMITHSONIAN CAYE (CARRIE BOW CAYE)	15
4.9. SOUTHWATER CAYE	15
4.10. TOBACCO CAYE	15
4.11. DANGRIGA (PELICAN BEACH RESORT)	16
4.12. BELIZE CITY	16
4.13. CONCLUSIONES:	19
5. REVISIÓN DE LOS ESTUDIOS PREVIOS	19
5.1. ESTUDIO DE EROSIÓN	19
5.1.1. Geometría del muro de contención considerado	19
5.1.2. Subir el nivel de relleno del cayo	20
5.1.3. Relleno en especial de ciertas zonas del cayo	20
5.1.4. Nivel de referencia	21
5.1.5. Niveles del mar: Nivel de diseño, Marea meteorológica y cambio climático	21
5.1.6. Gaviones	22
5.1.7. Impacto Visual	22
5.1.8. Dragado	22
5.1.9. Presupuesto	22
5.2. ESTUDIO GEOTÉCNICO	23
6. RESUMEN DEL ESTUDIO DEL CLIMA MARÍTIMO (IH CANTABRIA)	23
7. DISEÑO DE LAS ALTERNATIVAS DEL MURO DE CONTENCIÓN	24

7.1.	INTRODUCCIÓN	24
7.2.	PLANTA GENERAL	24
7.3.	CRITERIOS GENERALES	27
7.3.1.	Vida útil y probabilidad de fallo	27
7.3.2.	Período de Retorno	28
7.3.3.	Altura de ola de diseño	28
7.3.3.1.	Régimen Medio.....	28
7.3.4.	Régimen Extremal	30
7.3.5.	Niveles del Mar	30
7.4.	ALTERNATIVAS	32
7.4.1.	ALTERNATIVA 1- PROTECCIÓN CON ENROCADO	32
7.4.1.1.	Introducción	32
7.4.1.2.	Formulaciones	32
7.4.1.3.	Otros aspectos a considerar en el diseño	34
7.4.1.4.	Resultados	35
7.4.1.5.	Sección tipo	36
7.4.2.	ALTERNATIVA 2 y 3 – PROTECCIÓN CON GAVIONES.....	36
7.4.2.1.	Introducción	36
7.4.2.2.	Alternativas.....	37
7.4.2.3.	Formulaciones	39
8.	DRAGADO	43
9.	MEDIDAS MEDIOAMBIENTALES.....	44
9.1.	CONSERVACIÓN DEL MANGLE.....	44
9.2.	PLANTAR MANGLE NUEVO EN EL PERÍMETRO EXTERIOR DEL MUERO DE CONTENCIÓN	44
9.3.	TORTUGAS.....	45
9.4.	BARRERAS DE CONTENCIÓN.....	45
10.	PRESUPUESTO DE LAS ALTERNATIVAS	47
10.1.	ALTERNATIVA 1: PROTECCIÓN CON ENROCADO	47
10.1.	ALTERNATIVA 2: PROTECCIÓN CON GAVIONES	48
11.	RECOMENDACIONES Y OPCIÓN ELEGIDA	49
	ANEXO I-PLANOS	51
	ANEXO II-CÁLCULOS.....	52
	ANEXO II-CÁLCULOS. SOLUCIÓN EN TALUD	53
	ANEXO II-CÁLCULOS. SOLUCIÓN DE GAVIONES.....	54

1. INTRODUCCIÓN

1.1. ANTECEDENTES

La empresa TYPESA fue seleccionada y contratada para aportar asistencia técnica al Proyecto "Conservación de Recursos Marinos en Centroamérica". En la propuesta de asistencia técnica estaba prevista la realización de consultorías y el apoyo de expertos específicos.

Por este motivo en el mes de junio de 2017, los miembros de la Junta Directiva solicitaron a TYPESA la aportación de un experto en puertos, con el fin de dar apoyo al equipo técnico de la Dirección Ejecutiva en identificar la factibilidad técnica y ambiental para la eventual implementación de la obra de contención a ser construida en el Twin Cayes, con base a los estudios técnicos previamente elaborados y el análisis del estudio de oleaje proporcionado por la Universidad de Cantabria (España).

Con el soporte de los técnicos de MAR Fund, puntos Focales y la información existente del Proyecto, se ha redactado el presente documento. También se realizaron entrevistas a actores claves y visitas a varias áreas para completar la información.

1.2. LOCALIZACIÓN

El proyecto tiene lugar en Twin Cayes, es uno de los cayos que se encuentra integrado dentro de la reserva marina "South Water Caye" en Belice.



Imagen 1-Localización de la zona de estudio

En el propio Cayo, el área de proyecto es la zona ubicada más al sur (zona resaltada con un círculo rojo en la imagen previa). Se pretende realizar actuaciones de protección frente a la erosión que lleva sufriendo durante años.

La forma actual que presenta el área de estudios es la siguiente:

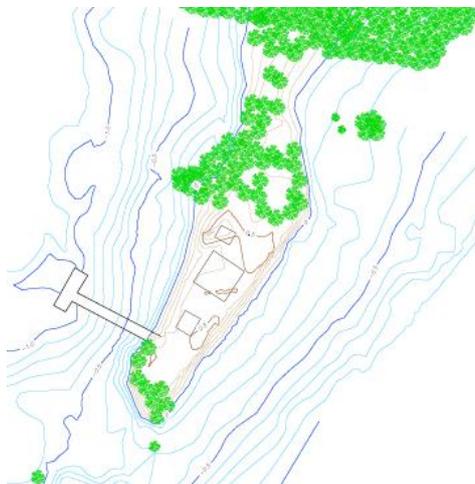


Imagen 2-Plano en planta de la situación actual

1.3. OBJETIVO

El objetivo general es el desarrollo de un documento técnico que determine la factibilidad técnica para la construcción de la obra de contención en Twin Cayes, de la Reserva Marina South Water Caye, Belice, que incluya recomendaciones al diseño técnico inicial para su realización y las medidas a incorporar para mitigar los impactos ambientales de su eventual construcción.

Los objetivos específicos de la evaluación incluyen los siguientes:

Recopilar información por parte de los representantes del Departamento de Pesca de Belice (director del área y supervisores de la Oficina Central) y las empresas y técnicos que elaboraron los estudios iniciales.

Interpretación de los datos del downscaling en la zona de Twin Cayes proporcionados por la empresa IH Data Cantabria.

Revisar y aportar observaciones y recomendaciones en relación al diseño inicial de la obra de contención y sus costos aproximados.

Elaborar un documento técnico final que determine la factibilidad técnica para la construcción de la obra de contención en el Cayo Twin, de la Reserva Marina South Water Caye, Belice, que incluya recomendaciones al diseño técnico inicial para su realización y las medidas a incorporar para mitigar los impactos ambientales de su eventual construcción.

2. RECOPIACIÓN DE LA INFORMACIÓN

La semana del 5 al 10 de Junio del 2017 tuvo lugar las visitas de campo y entrevistas con las partes implicadas, de las que se recopiló valiosa información para el desarrollo del presente informe.

Las principales actividades realizadas durante la misión fueron las siguientes:

1. El día 5 de Junio se mantuvo una reunión en la oficina de la Dirección Ejecutiva para analizar con el equipo técnico el alcance de las actividades a realizar y la organización de la misión al área en Belice.
2. El día 6 de Junio tuvieron lugar las entrevistas con los actores locales involucrados con el área protegida y la obra de contención. En las que se pudieron aclarar detalles de los estudios previos.
3. Durante los días 7 y 11 se realizaron visitas al área protegida (Twin Cayes), así como a sucesivos cayos para analizar qué medidas de contención habían considerado en cada uno de ellos.
4. Y durante las visitas de campo siempre se contó con la presencia de personal del Departamento de pesca, por lo que se pudo obtener información y opiniones del mismo en todo momento.

Toda la información recopilada ha sido de gran ayuda para desarrollar el presente informe, y se verá reflejada en cada una de las partes del mismo.

3. DESCRIPCIÓN DE LA SITUACIÓN ACTUAL TWIN CAYES

Se realizaron dos visitas oficiales a Twin Cayes para analizar y conocer de primera mano las condiciones climáticas y físicas de la zona. Durante las visitas las condiciones climáticas de viento y oleaje estaban en calma por lo que no se pudo apreciar ningún efecto causante de la erosión.



Imagen 3- Twin Cayes. Fuente: elaboración propia

La primera visita se realizó el día 7 de Junio a las 15:00 horas y la segunda el 8 de junio a las 9:30 horas y en ambas el nivel de marea era muy similar, estando aproximadamente en un nivel medio de marea (MSL =0).

La existencia de maderas hincadas en Twin Cayes, indicaban la trayectoria de la obra de contención planteada en el estudio previo. Dicha alineación ayudó a comprender como era el cayo antes y como la erosión ha ido poco a poco provocando la pérdida de playa.

A lo largo de la alineación aparecían mangles que impedían visualizar la continuación de la misma, quedando por tanto interrumpida. La existencia de estos mangles debía de ser tenida en cuenta para realizar las modificaciones necesarias de la nueva trayectoria de la obra de contención. Por ello se tomó nota de la ubicación aproximada de éstos para poder llevarlos al plano actual y fijar la nueva trayectoria.

En las siguientes imágenes se muestra la ubicación de estos mangles, y para poder ubicarlos se incluye una planta con flechas que indican la dirección con la que fueron tomadas las fotografías:



Imagen 4- Mangles a tener en cuenta en la nueva geometría de la obra de contención. Fuente: elaboración propia

Para poder caracterizar el suelo y las profundidades sobre las que va a apoyar la obra de contención, se realizó un recorrido andando por el agua siguiendo la posible alineación. Se destaca las bajas profundidades así como la existencia de un material fangoso plástico de alta cohesión. La retirada de estos fangos puede ser complicada y costosa, por lo que se prefiere considerar el diseño de una obra en la que parte del material de protección que se vierta se hundirá en el fango hasta estabilizarse.

Otros de los puntos importantes son las uniones de la obra de contención con la tierra. En la visita de campo se analizó como serían las alineaciones del arranque y la finalización del muro debido a la presencia de mangle e intentando afectar lo menos posible a las zonas colindantes. Se evitaran alineaciones que puedan causar reflexiones del oleaje o vórtices de corrientes que causen erosión en las zonas colindantes más al norte. A continuación se muestran las fotografías de dichos tramos:

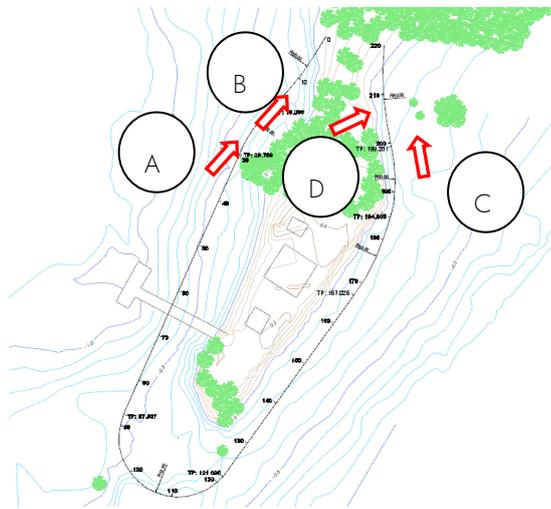
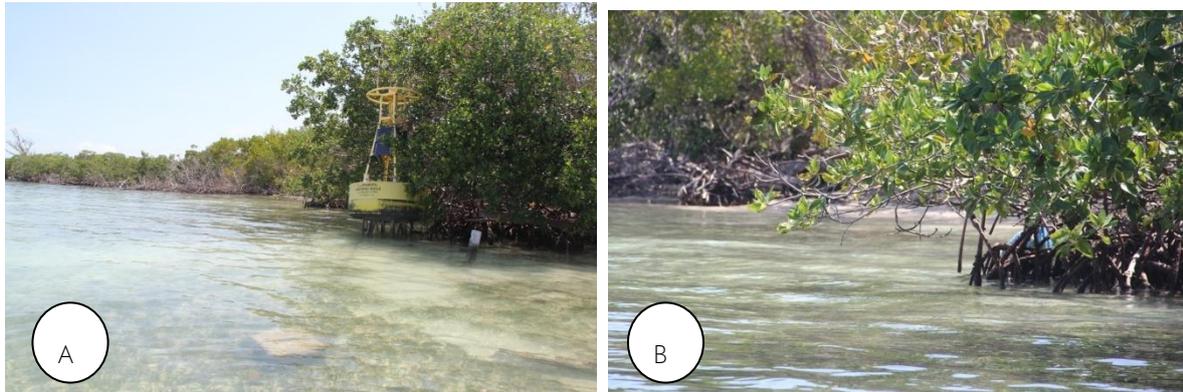


Imagen 5- Tramos de inicio y finalización de la obra de contención. Las imágenes A y B hacen referencia a la parte Oeste del Cayo, mientras que las imágenes C y D a la parte Este. Fuente: elaboración propia

Otro de los aspectos importantes a tener en cuenta es la presencia de mangle en el propio cayo, ya que una vez construida la obra de contención y antes de realizar el relleno de trasdós se debe tener cuidado de no dañarlos por la cubrición de sus raíces. Debido a la presencia de numerosos mangles se hizo complicado realizar un mapa de localización de cada uno de ellos, por lo que esto debe de especificarse como condición a cumplir en el momento de ejecución de la obra.

4. SOLUCIONES CONSIDERADAS FRENTE A LA EROSIÓN EN CAYOS CERCANOS

4.1. INTRODUCCIÓN

Para comprender el problema de erosión que están sufriendo en Belice tanto en los distintos Cayos como en la propia costa del continente, se realizaron varias visitas de campo a otros cayos. La finalidad era obtener información sobre las distintas medidas de contención consideradas y analizar brevemente su funcionamiento y/o viabilidad en Twin Cayes.

A continuación se describe brevemente cada uno de las visitas realizadas, sobre las que se han seleccionado algunas fotos para comprender mejor las medidas de contención consideradas.

4.2. LOCALIZACIÓN DE LAS DISTINTAS VISITAS DE CAMPO

En la siguiente imagen se muestra la localización de las diferentes visitas de campo realizadas, que nos permiten ubicarlas con respecto al área de estudio.

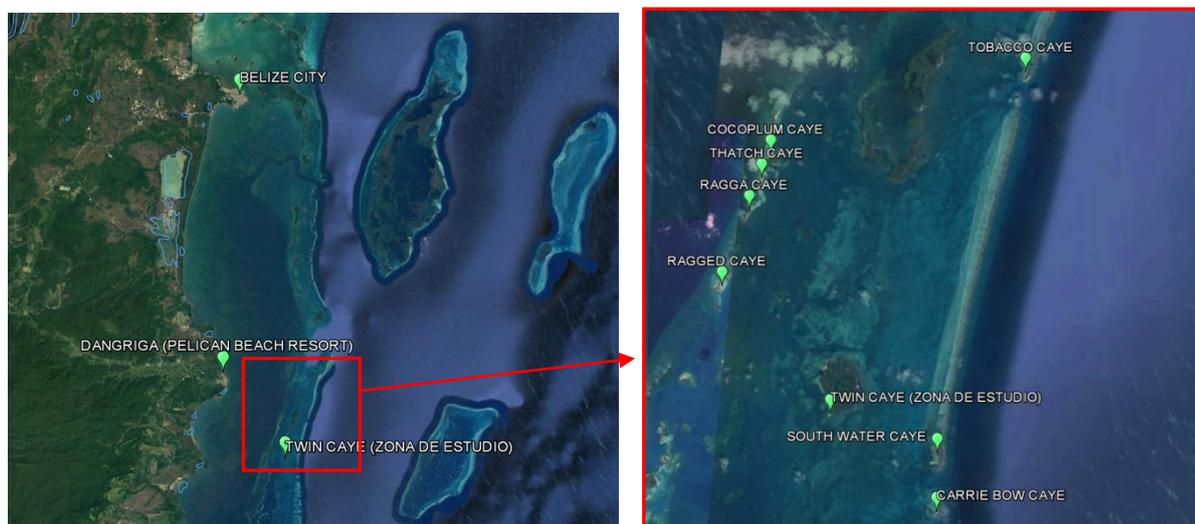


Imagen 6- Localización de las distintas visitas de campo realizadas. Fuente: Google Earth

4.3. RAGGED CAYE

El primer cayo visitado fue Ragged Caye, que como se observa en la Imagen 6 es el más cercano a Twin Cayes hacia el Norte. Las medidas de contención empleadas en este cayo son tres:

- Muros verticales de hormigón

Las fotografías muestran como bien debido a los rebases y/o a la alta reflexión del oleaje incidente, ha sufrido descalces y parte del propio muro ha sido destruido (ver Imagen 7). Se aprecia como las arenas que quedaban confinadas por el muro, se han perdido formándose una piscina en la parte interior.



Imagen 7- Muro de hormigón (Ragged Caye). Fuente: Propia

- Taludes con enrocado

En las imágenes siguientes se muestra otra de las alternativas consideradas, que son los taludes de enrocados formados por rocas con un taludes tendidos y que han sido vertidos directamente sobre el fondo.



Imagen 8- Talud de roca (Ragged Caye). Fuente: Propia

- Barreras o defensas formadas por troncos de madera

Esta opción la han combinado con los taludes de enrocado, como se puede apreciar en las fotos. Pero a se observa que bien por un oleaje extremal o simplemente el run-up del oleaje subió por encima de la cota de coronación creando una charca en su interior, con la correspondiente pérdida de sedimento que posiblemente se filtró entre los troncos de madera.



Imagen 9- Muro vertical con troncos de madera (Ragged Caye). Fuente: Propia

Las ideas principales que se pueden obtener de esta visita para el presente informe se centran en los taludes de rocas, de los que se puede extraer las siguientes anotaciones: empleo de taludes tendidos, apoyo directo de la roca sobre el fondo y consideración del suficiente ancho en coronación para proteger las arenas confinadas.

4.4. RAGGA CAYE

En este Cayo para evitar el retroceso de la línea de costa optaron por utilizar dos métodos de contención:

- Vertido directo de rocas en los márgenes con el empleo de neumáticos dentro las playas que ayuden a retener la arena.

El aspecto que proporciona la presencia de los neumáticos lleva a pensar que se trata de una zona contaminada o empleada como vertedero, pero dicho cayo se encuentra dentro de una zona de arrecifes protegida. Por lo que el impacto visual es elevado.



Imagen 10- Empleo de Rocas y neumáticos en las playas (Ragga Caye). Fuente: Propia

- Barreras o defensas formadas por troncos de madera

Aparentemente fueron empleados para proteger ciertas zonas de la incidencia directa del oleaje, y como barrera a las corrientes longitudinales que transportan el sedimento. Ayudando a su acumulación en la zona protegida y evitando la erosión. No obstante en las imágenes tomadas se observa como parte de la defensa ha sido destruida.



Imagen 11- Muro de contención formado por troncos de madera (Ragga Caye). Fuente: Propia

De este cayo se puede extraer la conclusión de que no se deben considerar elementos de contención que causen un elevado impacto visual dañando la imagen de la zona protegida.

4.5. COCOPLUM CAYE

En Cocoplum Caye se han empleado tres tipologías distintas de muro de contención: Muro vertical de hormigón, tablestacas con protección de roca en la base (banqueta), muro de madera con rocas en la parte protegida y muro de madera con protección de roca en la base , a modo de banqueta.

En general en este cayo se puede destacar que las cotas de coronación de las medidas de contención son altas.

- Muro vertical de hormigón

En la imagen siguiente se aprecia que el desnivel entre el nivel del mar y la cota de coronación del muro de hormigón es elevado. Se puede destacar que el impacto visual es alto, ya que encontramos un muro de hormigón sobredimensionado en una zona donde el medio ambiente es primordial. Éste sería uno de los casos a los que hacen referencia el personal del departamento de pesca sobre dimensionar una estructura para un elemento extremal cuya probabilidad de ocurrencia es muy baja.



Imagen 12- Muro vertical de hormigón (Cocoplum Caye). Fuente: Propia

- Tablestacas con protección de roca en la base (banqueta)

Otras de las soluciones consideradas es el empleo de tablestacas con una banqueta de rocas que ayudan a evitar la socavación y facilitan la disipación del oleaje. Al igual que en el caso de muros de hormigón el impacto visual es alto y aparte hay que tener en cuenta las reflexiones que dichas estructuras causan.



Imagen 13- Tablestacas con banqueta de roca (Cocoplum Caye). Fuente: Propia

- Muro de madera con rocas en la parte protegida

En otras zonas del cayo se han empleado muros o defensas de madera, que en el caso de la imagen siguiente, buscan proteger la estabilidad de la estructura. Pero a simple vista se ve como el muro de contención ha ido perdiendo estabilidad y ha cedido hacia el mar, perdiéndose la arena que quedaba protegida tras él y como medida de actuación se vertieron rocas para su protección.



Imagen 14- Muro de contención formado por troncos de madera con protección de la línea de costa con rocas en la parte protegida (Cocoplum Caye). Fuente: Propia

- Muro o defensa de madera con protección de roca en la base, a modo de banqueta.

En la imagen siguiente al igual que en el empleo del muro vertical de hormigón, se ha alcanzado una elevada cota de coronación. El empleo de troncos de madera hace difícil conseguir un recinto confinado, ya que entre cada tronco existen huecos que permiten el paso del sedimento. Para mantener la estabilidad de la estructura se han colocado un talud de rocas que a su vez ayudan a evitar la socavación y posible destrucción del muro.



Imagen 15- Muro de contención formado por troncos de madera con protección de rocas en la base (Cocoplum Caye). Fuente: Propia

4.6. THATCH CAYE

Thatch Caye se encuentra ubicado próximo a Cocoplum Caye. En este cayo se ha empleado un muro y defensas de madera de baja cota de coronación para contener las arenas y un talud de rocas como protección y sujeción de los troncos de madera. Da la sensación que primero se emplearon los troncos y cuando éstos empezaron a fallar o no cumplían con su misión se hizo un vertido de roca por delante.



Imagen 16- Muro de contención formado por troncos de madera con protección de rocas en el frente (Thatch Caye). Fuente: Propia

4.7. DEVOND ISLAND

En Devond island se han empleado las siguientes medidas de contención:

- Geotextil

En la siguiente imagen se observa como el geotextil está sujetado por troncos de madera hincados a cierta distancia unos de otros y algunos de Estos troncos son sujetados por maderas inclinadas a modo de contrafuerte.

El geotextil se aprecia como se ha deteriorado debido a su puesta en obra ya que está completamente expuesto a factores ambientales: viento, sol, oleaje, etc.



Imagen 17- Geotextil (Devond Island). Fuente: Propia

- Muro o defensa vertical de madera

En la siguiente imagen se muestra la defensa formada por maderas que se encuentra prácticamente destruida



Imagen 18- defensa formada por tronco de madera (Devond Island). Fuente: Propia

- Taludes formados por conchas de caracol de mar.

La siguiente imagen muestra cómo se han utilizado recursos de la zona para la realización de obras de contención.



Imagen 19- Talud de conchas de caracol de mar (Devond Island). Fuente: Propia

4.8. SMITHSONIAN CAYE (CARRIE BOW CAYE)

En Smithsonian Caye o también llamado Carrie Bow Caye se crearon pequeños espigones perpendiculares a la costa con el fin de retener la corriente longitudinal y facilitar la acumulación de sedimento en la parte en sombra, mediante el uso de dos tipos de espigones: unos creados por ladrillos hincados con barras de acero que tal y como puede observarse están oxidados y otros con sacos de cemento.



Imagen 20- Espigones creados con ladrillos y sacos de cemento (Carrie Bow Caye). Fuente: Propia

4.9. SOUTHWATER CAYE

En Southwater Caye se ha empleado una protección de escollera a lo largo de todo el cayo, como principal medida de contención de la arena.



Imagen 21- Taludes con rocas (Southwater Caye). Fuente: Propia

4.10. TOBACCO CAYE

En Tobacco Caye para evitar el retroceso de la línea de costa han construido una ladera de protección con las conchas del caracol típico de la zona. Al igual que se comentó anteriormente han empleado recursos locales que han sido considerados para la creación de elementos estructurales

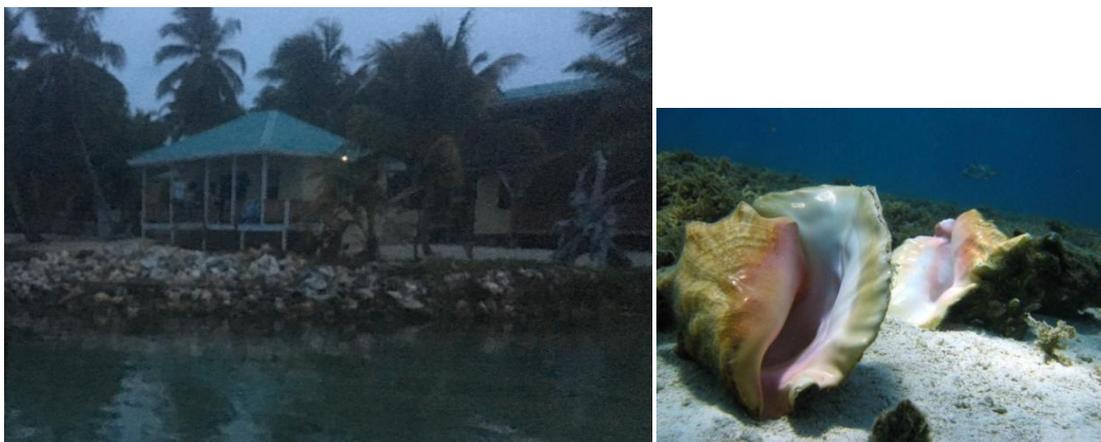


Imagen 22- Talud de conchas de caracol de mar (Tobacco Caye) y concha de caracol. Fuente: Propia e internet

4.11. DANGRIGA (PELICAN BEACH RESORT)

En Dangriga se mantuvo una reunión con la manager del hotel que nos explicó las distintas soluciones que había considerado hasta la fecha. Entre las que cabe señalar la construcción de pequeños espigones de roca, protección de las arenas con taludes de roca e incluso había introducido neumáticos en la playa que ayudasen a retener el sedimento de la playa. Otras de las soluciones que actualmente está realizando es verter en los taludes de roca todo los compuestos orgánicos naturales tales como hojas de palmera y otras plantas, cocos, etc. que ayuden al crecimiento de los mangles por la fertilización de las tierras.



Imagen 23- Talud formado por rocas (Pelican Beach Resort, Dangriga). Fuente: internet

4.12. BELIZE CITY

Durante la estancia en Belice City se realizaron varias visitas a distintas zonas en las que se podían observar gran variedad de elementos de contención considerados.

Uno de los elementos de contención son los diques verticales de hormigón. En la foto se puede apreciar cómo debido a la reflexión y al ángulo de incidencia de los oleajes incidentes causaban la formación de una ola

corredera que producía rebases con el correspondiente lavado las arenas que se encuentran en la parte protegida.



Imagen 24- Muro vertical de hormigón (Belice City). Fuente: Elaboración Propia

En otra zona de Belice City en vez de un muro de hormigón se ha utilizado un conglomerado de rocas. En la siguiente imagen se puede apreciar como el agua ha sobrepasado la cota de coronación y limpiado las arenas protegidas creando un canal.



Imagen 25- Muro de conglomerado (Belice City). Fuente: Elaboración Propia

En otras zonas se ha empleado un talud cubierto con rocas, es decir un dique de escolleras. En la foto de la derecha al localizarse en una zona de mayor oleaje y tener un paseo de viandantes detrás se ha introducido un pequeño muro para proteger dicha zona de peatones de los posibles rebases.



Imagen 26- Taludes formados por orcas (Belice City). Fuente: Elaboración Propia

En la misma zona del paseo marítimo, también utilizaron un talud de conglomerado al que dieron mayor cota de coronación que a la parte formada por rocas, posiblemente porque es una superficie sin irregularidades por lo que favorece el run-up.

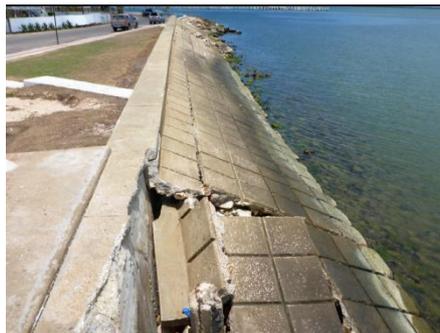


Imagen 27- Taludes formados por conglomerados (Belice City). Fuente: Elaboración Propia

Y debido a que en el estudio previo se planteo la solución de gaviones, se buscó dónde habían sido empleados. En la margen del río como muro de contención de los rellenos, fue dónde se encontraron. Pero estos gaviones son de malla metálica ya que no están en contacto directo y continuo con el agua.



Imagen 28- Gaviones (Belice City). Fuente: Elaboración Propia

4.1.3. CONCLUSIONES:

Durante la visita de campo de los distintos Cayos y zonas costeras de Belice, se llega a la conclusión de descartar todas aquellas medidas de contención con alto impacto visual y poco efecto práctico y funcional, buscando una solución que resuelva el problema y que se adapte e integre mejor en el entorno.

Por ello las obras de contención formados por muros de hormigón, tablestacas, defensas o muros de madera son descartados. Y toma mayor importancia el empleo de taludes de roca como medida más apropiada.

Son varias las razones que llevan a descartar la opción de muros verticales de hormigón, pero la principal es que, por efectos de la reflexión del oleaje, que en un muro vertical puede ser del orden del 90%, aparecen problemas de socavación bajo los mismos que llevan al descalce de la estructura y su colapso. Para oleajes oblicuos, también se produce la formación de olas correderas en sentido longitudinal que producen problemas de rebase y de erosión en el trasdós del propio muro.

Las razones explicadas para descartar el empleo de muros de hormigón son similares a las que desaconsejarían el empleo de tablestacas. Mientras que en el caso de muros de contención formados por troncos de madera se ha observado que provocan los mismos efectos y además requieren de un mantenimiento regular.

El empleo de elementos de baja densidad como conchas o neumáticos u elementos similares no son aconsejables ya que serán arrastrados por el oleaje y las corrientes con los primeros temporales y pueden impactar en las zonas donde se depositen.

Se proponen como soluciones válidas las correspondientes a protección con **escolleras de piedra** o el empleo de **gaviones** formando una protección perimetral. En los siguientes apartados se analizarán estas soluciones con mayor detalle.

5. REVISIÓN DE LOS ESTUDIOS PREVIOS

Los estudios previos realizados son:

- Estudio de erosión ("Erosion Study at South Water Caye Marine Reserve Headquarters at Twin Cayes"), realizado por Eugene Ariola en Octubre de 2016.
- Estudio Geotécnico ("Borehole Results"), realizado por la empresa GeoTech Belize en Marzo de 2017.

Tras las reuniones mantenidas con los agentes implicados en el desarrollo de ambos estudios se extrajeron las siguientes ideas que se explican a continuación.

5.1. ESTUDIO DE EROSIÓN

Se han agrupado en diferentes apartados los distintos aspectos tratados en la reunión, tal y como se muestra a continuación:

5.1.1. Geometría del muro de contención considerado

Se planteó la cuestión de cuál fue la razón que llevó a la elección de la geometría planteada en el documento. La respuesta fue que esa era la forma y extensión que tenía el cayo antes de empezar a sufrir problemas de

erosión. No obstante el personal del departamento de pesca no puso pega alguna a plantear modificaciones a la misma.

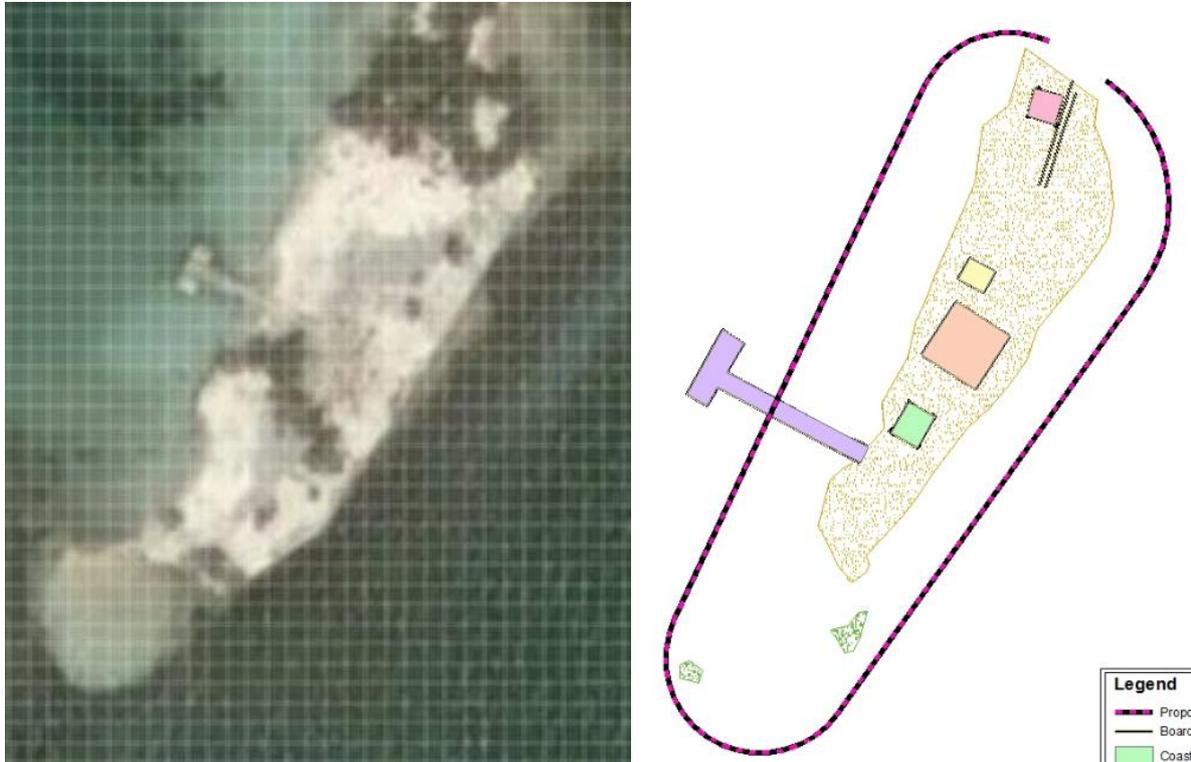


Imagen 29- Geometría del Cayo anterior & geometría de la obra de contención del estudio previo.

5.1.2. Subir el nivel de relleno del cayo

En el documento de erosión se dice que una parte significativa del cayo se inunda en marea alta, así que durante la visita de campo el personal del departamento de pesca indicó más o menos hasta dónde había llegado en ocasiones el nivel del mar en el cayo. La cota del terreno más alta a la que se encuentra el cayo es la +0.7 en una pequeña parte del mismo, por este motivo se aclaró en la reunión que esa iba a ser la cota hasta la que se iba a recrecer todo el área de estudio.

5.1.3. Relleno en especial de ciertas zonas del cayo

Como se ha comentado anteriormente se permiten modificaciones en el contorno del muro de contención. Pero el personal del departamento de pesca aclaró que existen dos zonas en las que por su funcionalidad y/o ocupación en un futuro interesa tener la mayor área posible. Estas áreas son las señaladas en la imagen siguiente:

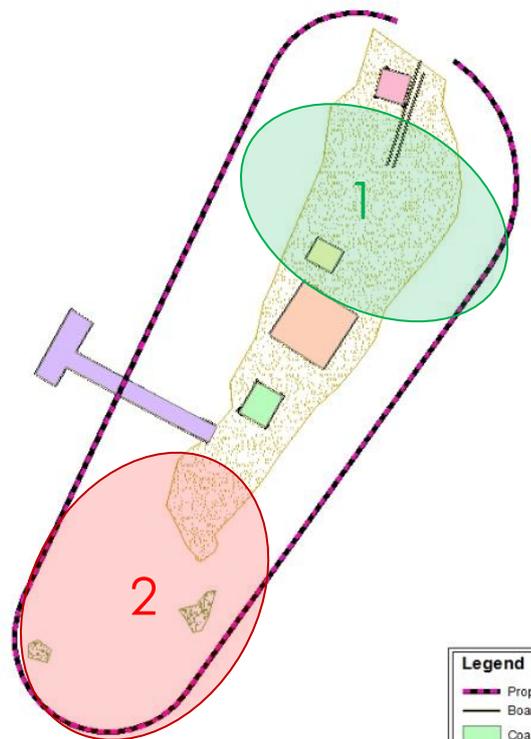


Imagen 30- Áreas importantes debido a su futura ocupación. Fuente: Elaboración Propia.

En la zona 1, es dónde se va a construir la nueva caseta de vigilancia, cuya superficie es mayor que la actual. Mientras que en la zona 2 se busca crear una zona en la que los turistas puedan bajar del barco a descansar y comer, es decir convertirlo en una zona de recreo.

5.1.4. Nivel de referencia

En el informe analizado existe una cierta confusión de cuál es el nivel de referencia cuando se mencionan las cotas del terreno o las cotas de coronación del muro de contención o las cotas de niveles del mar. Se ha supuesto que en el estudio de erosión se consideró el nivel medio del mar como el nivel de referencia, es decir el 0.0.

5.1.5. Niveles del mar: Nivel de diseño, Marea meteorológica y cambio climático

Se especifica que el nivel de diseño es la suma de marea astronómica +variación estacional+ marea meteorológica +set up, tomando el valor de 1.1 m. Esta idea no queda clara ya que la cota de coronación de los gaviones y del relleno es la +0.7 m por lo que todos ellos quedarían sumergidos.

Se aclaró que en referencia al nivel del mar de diseño no se tuvo en cuenta ni la marea meteorológica ni el cambio climático por ser probabilidades pequeñas y con mucha incertidumbre. Ante esta respuesta el personal del departamento de pesca dejó bien claro que ellos no quieren sobredimensionar la obra de contención, sino que en caso de venir un huracán una vez que éste pase se repararán los daños causados. Pero no quieren tener un muro con una elevada cota coronación para un temporal de diseño cuya probabilidad de ocurrencia es mínima.

5.1.6. Gaviones

En el estudio previo de erosión no se realizó ningún cálculo para estimar el peso necesario de los gaviones, simplemente se dieron unas medidas de los mismos en función de la profundidad en la que se ubicasen, siendo necesario el empleo de dos tamaños.

Hay que tener en cuenta que los gaviones van a estar sometidos a diferentes cargas como son: acciones del oleaje, cargas del relleno, peso propio y subpresión. En el presente informe se ha realizado un cálculo aproximado de la estabilidad de los mismos.

También se asumió en dicho estudio que la cota de coronación de los gaviones era la misma que la cota del terreno, quedando completamente enrasado con el terreno. Tampoco se consideró ninguna malla anti socavación que evite el hundimiento de los gaviones cuando se coloquen en obra ni geotextil que evite el paso de sedimento a través de los gaviones.

5.1.7. Impacto Visual

La obra de contención debe causar el mínimo impacto visual, y para conseguirlo se deben emplear materiales acordes a los que se encuentran en la zona. Siendo entre las tres alternativas planteadas, en el estudio de erosión, la de gaviones la que mejor se integra en el entorno y medioambiente.

5.1.8. Dragado

En el estudio de erosión solo se menciona el volumen necesario de relleno que será necesario dragar y se explican dos métodos de dragado. No obstante no se indica la zona a dragar ni el presupuesto para los trabajos de dragado.

El personal del departamento de pesca indicó que para favorecer el crecimiento de Mangle en la zona que se iba a rellenar, se requería un sedimento con serie de requisitos desde el punto de vista de nutrientes para favorecer el crecimiento del mangle. Por este motivo se comentó que se debe dragar en una zona interior del arrecife. En especial se fijó que el dragado se realizase en la zona próxima al nuevo muelle para así también ganar calado y dar la posibilidad de atraque a mayores embarcaciones.

Posteriormente, durante la visita de campo se comentó la posibilidad de adquirir una pequeña bomba para dragar el sedimento desde la zona exterior al muelle. La bomba se mantendría en el cayó y podría utilizarse para futuros dragados de mantenimiento. Estos aspectos deben ser aclarados por el coste que supone en cada una de las alternativas.

5.1.9. Presupuesto

En el presupuesto previo no se han considerado las siguientes partidas que aumentarán el presupuesto:

- Precio del traslado de la roca hasta Twin Caye
- Precio de la puesta en obra
- Precio del dragado

5.2. ESTUDIO GEOTÉCNICO

La reunión que se mantuvo con el personal que desarrolló el estudio geotécnico, no aportó información aplicable al presente informe, no obstante si a la visión global del proyecto. Se van a citar algunas de las ideas mantenidas en la reunión pero quedan fuera de los trabajos a desarrollar en este documento.

Se trataron los temas del nuevo edificio para los guarda-parques, y la opinión del experto geotécnico en la secuencia constructiva a considerar.

Debido a que la presencia de roca en los dos sondeos realizados se encuentra aproximadamente a la misma cota 9.5 m -10 m de profundidad, se puede asumir que la roca se encuentra a esa profundidad en todo el cayo.

6. RESUMEN DEL ESTUDIO DEL CLIMA MARÍTIMO (IH CANTABRIA)

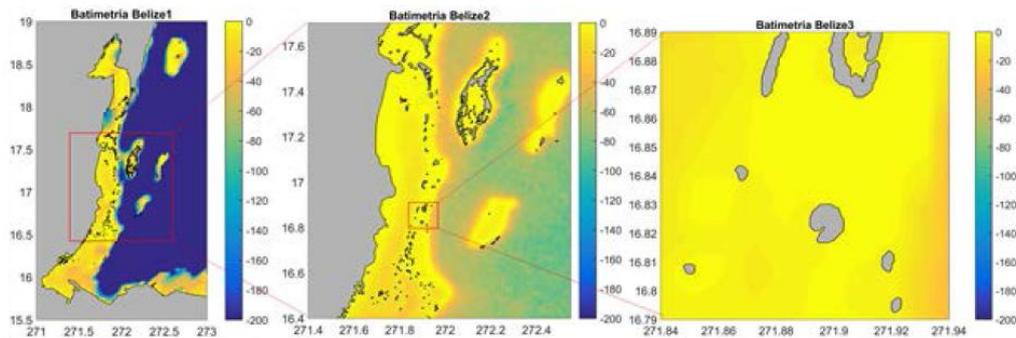
En este apartado se resume brevemente el trabajo realizado en el informe de caracterización del clima marítimo. Para poder caracterizar las condiciones climáticas es aconsejable disponer de información durante al menos 30 años, en dicho informe se cuenta con 32 años de datos que van desde 1985 hasta 2016

Se ha propagado el oleaje existente desde aguas profundas (punto 1), nodo situado fuera del arrecife de coral, hasta distintos puntos ubicados próximos a la zona de estudio. Para la propagación se ha tenido en cuenta los niveles del mar, los vientos y el oleaje del punto 1. Ya que durante la propagación del oleaje del nodo exterior hasta los puntos próximos a Twin Cayes, existe suficiente distancia (fetch) que con el efecto del viento se generan nuevos oleajes. Hay que señalar que los datos de viento engloban los ciclones tropicales, por lo que en los datos propagados se han tenido en cuenta los eventos extremos.

En la siguiente figura se muestra la ubicación de los distintos nodos:



Para realizar la propagación se han empleado 3 mallas anidadas, es decir, a medida que durante la propagación se acercan a la zona de estudio la resolución de las mallas es mayor, de esta forma se busca una mayor precisión en los resultados.



De este informe se va a extraer la información más relevante necesaria para el dimensionamiento de las obras de contención, es decir: Régimen medio, régimen extremal y niveles de marea. Todos los parámetros quedan resumidos en los criterios de diseño de las alternativas a estudiar descritos en el apartado 7.3 de Criterios generales.

7. DISEÑO DE LAS ALTERNATIVAS DEL MURO DE CONTENCIÓN

7.1. INTRODUCCIÓN

En este apartado se explica la planta definida para la obra de contención y el dimensionamiento de las alternativas consideradas, que consisten en la construcción de una protección con roca o mediante el empleo de gaviones.

7.2. PLANTA GENERAL

Se ha propuesto la siguiente planta para la obra de contención, en la que se ha modificado levemente su trazado con respecto a la inicialmente propuesta en el estudio previo, tal y como se puede ver en la siguiente imagen:

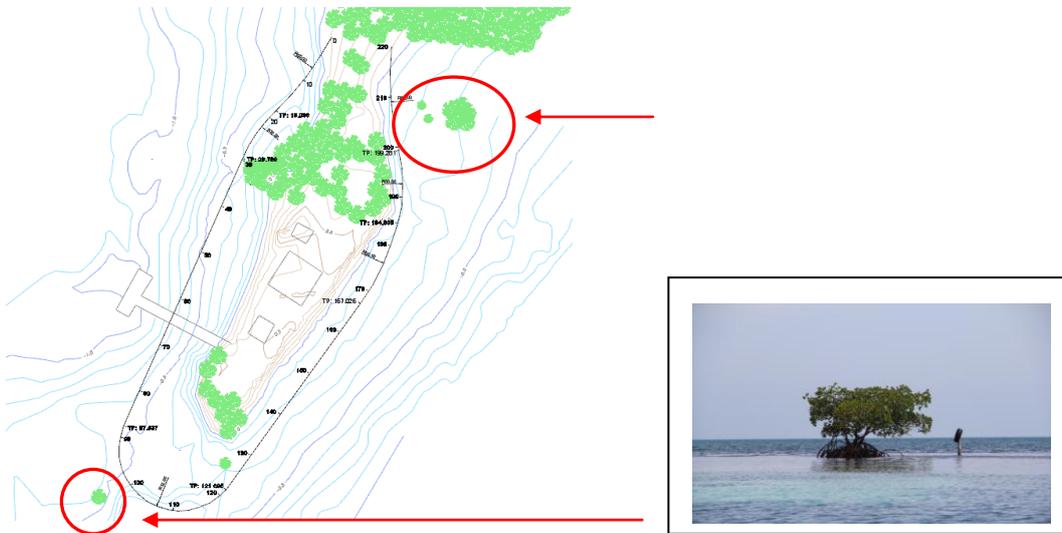


Imagen 32- Presencia de mangles exentos que obligan a cambiar la trayectoria de la obra. Fuente: Elaboración Propia.

Otros mangles se encuentran justo en la alineación de la obra de contención, pero a diferencia de los anteriores se encuentran conectados a tierra. En este caso, se ha pensado en proteger dichos mangles pero dejándolos dentro del perímetro de contención de la obra.

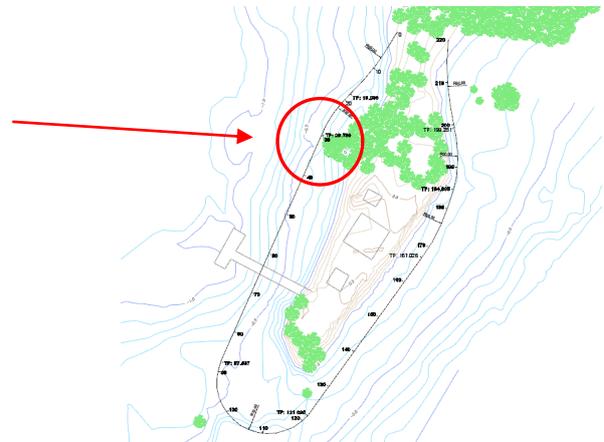


Imagen 33- Presencia de mangles perimetrales conectados a tierra que obligan a cambiar la trayectoria de la obra. Fuente: Elaboración Propia.

- Cierre e inicio de la obra de contención con tierra

Es importante tener en cuenta la curvatura con la que se cierre la obra de contención a ambos lados del cayo. Se debe evitar que ésta sea perpendicular a la línea de costa, ya que eso produciría reflexiones que pueden afectar a las zonas colindantes con futuras erosiones, véase un croquis en la imagen siguiente.

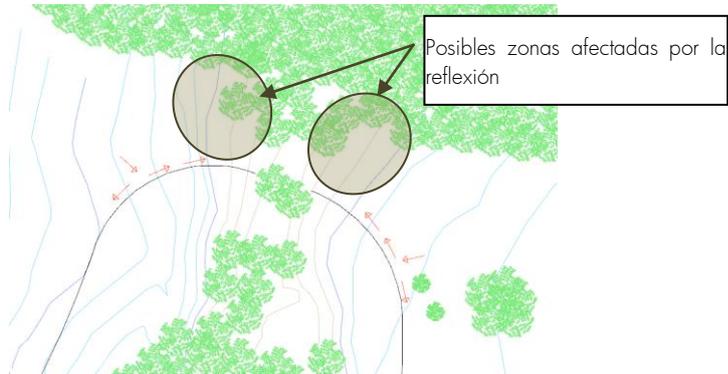


Imagen 34- Alineaciones de la obra que debido a la reflexión pueden causar problemas de erosión en las zonas colindantes. Fuente: Elaboración Propia.

Por este motivo se ha buscado una cierta curvatura que evite dichas reflexiones y ayude a que la corriente longitudinal se encauce con la barrera de protección evitando reflexiones y vórtices de corriente.

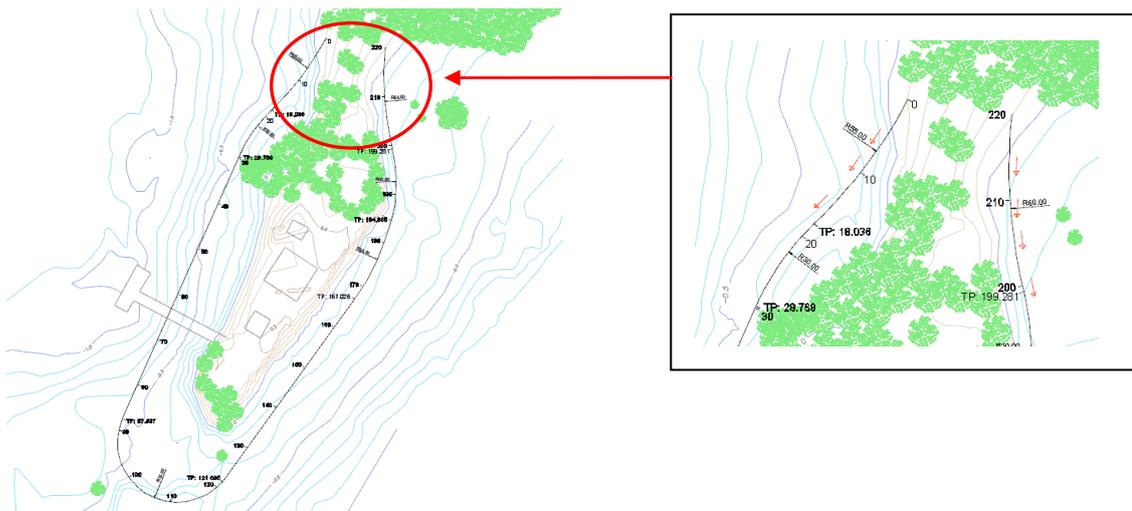


Imagen 35- Alineaciones de cierre de la obra de contención en su conexión a tierra. Fuente: Elaboración Propia.

7.3. CRITERIOS GENERALES

El objetivo de este estudio es verificar la posibilidad de realizar la obra de contención así como su diseño para que en su conjunto satisfaga los requisitos de seguridad, servicio, y uso y explotación.

7.3.1. Vida útil y probabilidad de fallo

La probabilidad de fallo y la vida útil se determina de acuerdo con el procedimiento indicado en la R.O.M (Recomendaciones para Obras Marítimas (R.O.M.). Puertos del Estado, Ministerio de Fomento), a partir de los índices de repercusión económica (IRE) y de repercusión social y ambiental (ISA). Según ROM 1.0-09, se obtienen los siguientes valores de: IRE y vida útil; e ISA, máxima probabilidad de fallo frente a estados límites

de servicio y máxima probabilidad de fallo frente a estados límites últimos, respectivamente, para protección y defensa de márgenes.

TIPO DE ÁREA PROTEGIDA		IRE	Vida útil (años)	ISA	P _{FELU}	P _{FELS}
ÁREAS LITORALES	Regeneración y defensa de playas	r1 (bajo)	15	s1 (No significativo)	0.2	0.2

Tabla 1. Carácter general del tramo de obra. Fuente: ROM 1.0-09

7.3.2. Período de Retorno

El periodo de retorno para la caracterización del oleaje extremal en aguas profundas, se determina en función de la vida útil y de la probabilidad de fallo para la que se diseñan las actuaciones, de acuerdo con la siguiente ecuación:

$$T_R = \frac{1}{1 - (1 - P_f)^{1/V_m}}$$

Donde:

TR=Período de retorno (años)

V_m= Vida Útil (años)

P_f=Probabilidad de fallo

De acuerdo con los valores determinados en los puntos anteriores, se obtiene el período de retorno de 68 años

Tipo de área protegida		Periodo de retorno (TR) en años
Áreas litorales	Regeneración y defensa de playas	68

Tabla 2. Periodos de retorno para la obra de protección.

7.3.3. Altura de ola de diseño

A partir del estudio de clima marítimo realizada por IH Cantabria se han obtenido los siguientes resultados que permiten fijar los criterios de diseño para el cálculo de la obra de contención

7.3.3.1. Régimen Medio

Se ha extraído la información de uno de los nodos propagados, que se ha considerado como el más representativo y próximo a Twin Cayes (Punto 5). En la siguiente tabla se muestra la probabilidad de ocurrencia de alturas de ola & periodo que se dan en un año medio, permitiendo caracterizar el clima marítimo en la zona de estudio.

P5			Hs (m)															total
			0	0.2	0.4	0.6	0.8	1	1.2	1.4	1.6	1.8	2	2.2	2.4	2.6	2.8	
			0.2	0.4	0.6	0.8	1	1.2	1.4	1.6	1.8	2	2.2	2.4	2.6	2.8	3	279768
Tm (s)	1	2	3.2902	1.9051	0.0014	0.0011	0	0.0004	0.0007	0.0011	0	0	0	0	0	0	0	5.200
	2	3	11.0702	54.9198	8.3909	0.0204	0.0068	0.0068	0.0050	0.0025	0.0021	0.0029	0	0	0	0	0	74.427
	3	4	4.9109	9.9429	1.7350	0.0193	0.0086	0.0039	0.0025	0.0011	0.0011	0.0004	0.0004	0.0004	0	0	0	16.626
	4	5	1.1888	1.9030	0.0279	0.0050	0.0064	0.0007	0	0.0004	0.0011	0	0	0	0.0004	0	0.0007	3.134
	5	6	0.2077	0.2706	0.0036	0	0.0057	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0004	0	0.488
	6	7	0.0340	0.0611	0.0004	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.095
	7	8	0.0093	0.0114	0.0011	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.022
	8	9	0	0.0032	0.0007	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.004
	9	10	0	0	0.0014	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.001
	10	11	0	0	0.0014	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.001
total	279768	20.7111	69.0172	10.1638	0.0458	0.0275	0.0118	0.0082	0.0050	0.0043	0.0032	0.0004	0.0004	0.0004	0.0004	0.0007	100	

P5			Hs (m)															total
			0	0.2	0.4	0.6	0.8	1	1.2	1.4	1.6	1.8	2	2.2	2.4	2.6	2.8	
			0.2	0.4	0.6	0.8	1	1.2	1.4	1.6	1.8	2	2.2	2.4	2.6	2.8	3	279768
Tp (s)	1	2	0.6026	0.1151	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.7177
	2	3	1.6003	3.8217	0.2012	0.0018	0.0004	0.0007	0.0007	0.0011	0	0.0004	0	0	0	0	0	5.6282
	3	4	1.9702	9.9525	0.5136	0.0043	0	0	0	0	0	0.0018	0	0	0	0	0	12.4425
	4	5	4.0927	8.1525	2.2365	0.0007	0	0	0.0004	0	0	0	0	0	0	0	0	14.4827
	5	6	5.6808	16.3207	1.2728	0.0011	0	0.0004	0.0007	0.0011	0.0021	0	0	0	0	0	0	23.2796
	6	7	4.2893	20.1453	3.3095	0.0068	0.0032	0.0046	0.0025	0.0004	0.0004	0.0004	0.0004	0.0004	0.0004	0.0004	0	27.7634
	7	8	1.4587	8.8491	1.9109	0.0064	0.0071	0.0021	0.0036	0.0007	0.0004	0	0	0	0	0	0.0004	12.2394
	8	9	0.5819	1.2757	0.4772	0.0039	0.0082	0.0029	0	0.0018	0.0007	0.0007	0	0	0	0	0.0004	2.3537
	9	10	0.1551	0.2473	0.1619	0.0136	0.0043	0.0011	0.0004	0	0.0007	0	0	0	0	0	0	0.5844
	10	11	0.0547	0.0658	0.0375	0.0032	0.0007	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.1619
	11	12	0.0497	0.0204	0.0136	0.0029	0.0021	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0886
	12	13	0.0536	0.0179	0.0129	0.0007	0.0014	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0865
	13	14	0.0490	0.0089	0.0118	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0697
	14	15	0.0343	0.0068	0.0039	0.0004	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0454
	15	16	0.0186	0.0082	0.0004	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0272
	16	17	0.0147	0.0082	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0229
	17	18	0.0018	0.0011	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0029
	18	19	0.0021	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0021
	19	20	0.0011	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0011
	total	279768	20.7111	69.0172	10.1638	0.0458	0.0275	0.0118	0.0082	0.0050	0.0043	0.0032	0.0004	0.0004	0.0004	0.0004	0.0007	100

Tabla 3- Tablas de ocurrencia de Hs&Tm y Hs&Tp en el punto 5

De las tablas anteriores se pueden extraer las siguientes conclusiones:

- **Altura de ola :**
El 99.89% de las olas que suceden en un año medio no superan los 0.6 m, siendo el rango con mayor probabilidad de ocurrencia el comprendido entre los 0.2 y 0.4 m
- **Periodo medio:**
Del mismo modo se observa que el 99.39% no supera los 5 s de periodo medio y el periodo medio de mayor probabilidad ocurrencia es de unos 3s
- **Periodo pico:**
El 99.49% no supera los 10 s de periodo pico y el de mayor probabilidad ocurrencia es entre 5 y 7s

7.3.4. Régimen Extremal

Del estudio de oleaje se puede extraer que la altura de ola del régimen extremal asociada a un periodo de retorno de 68 años es de 3.7 m. Y el periodo asociado a estas alturas de ola está entre 7-9 s para el periodo pico y entre 4-6s de periodo medio.

En el siguiente gráfico se representan los valores de alturas de ola significativa asociados a distintos periodos de retorno, dichas curvas se han obtenido de distribuciones generalizadas de extremos (GEV) por máxima verosimilitud. Y hay que tener en cuenta que este resultado está muy condicionado por la existencia de eventos asociados a ciclones tropicales.

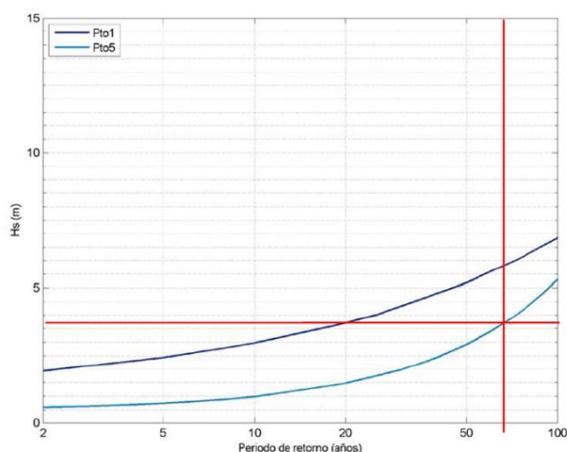


Imagen 36- Régimen extremal de alturas de ola

7.3.5. Niveles del Mar

Los valores para determinar cuál será el nivel de diseño a considerar en el dimensionamiento de la obra de contención es igual a la suma de Marea astronómica+ Marea meteorológica +Aumento del nivel del mar por cambio climático. A continuación se explican los valores considerados que han sido extraídos del estudio de clima.

- **Marea Astronómica**

La carrera de marea astronómica es de unos 40 cm, es decir 0.2 m respecto del MSL

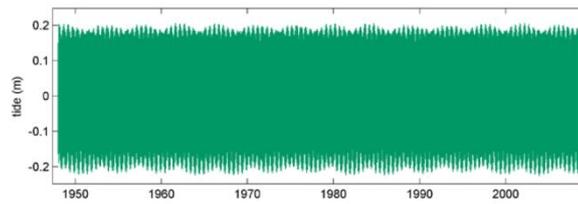


Imagen 37- Marea astronómica

■ Marea meteorológica

Se puede observar que los valores de marea meteorológica son generalmente pequeños, se ha considerado un valor de 0.1 m respecto al MSL

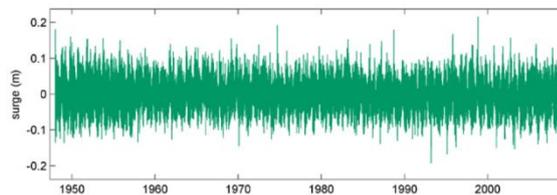


Imagen 38- Marea meteorológica

■ Cambio climático

Se ha considerado un aumento del nivel del mar según las tendencias obtenidas a partir de la información histórica, es decir estimado una tendencia lineal a partir de 1950 (2.3mm/año) y a partir de la década de los 90 (2.95mm/año). El aumento del nivel del mar que se produciría durante los 15 años de vida útil de la obra es de 0.1 m



Imagen 39- Aumento del nivel del mar por cambio climático

■ Nivel de diseño

El nivel de diseño considerado con la suma de marea astronómica+ marea meteorológica +cambio climático es de 0.4 m sobre el Nivel Medio del mar (MSL)

7.4. ALTERNATIVAS

La alternativa seleccionada del estudio previo fue la solución de gaviones, no obstante en este informe se plantea también la solución de considerar un dique en talud formado por rocas. Ambas alternativas van a ser descritas, calculadas y valoradas en este capítulo:

7.4.1. ALTERNATIVA 1- PROTECCIÓN CON ENROCADO

7.4.1.1. Introducción

Tal y como se ha apreciado en varios de los Cayos visitados, una de las opciones más habituales utilizadas en la zona son los diques en talud formados por roca. Debido a la experiencia que se tiene en la zona y las ventajas que supone esta opción debido a su puesta en obra, experiencia en la zona y su fácil reparación, hacen que esta alternativa adquiera importancia frente a otras.

Los diques son principalmente estructuras de abrigo, aunque pueden actuar también como barrera litoral y/o protección costera. En el presente informe sus funciones principales son las de sustentación del relleno y la disipación de la energía del oleaje incidente.

Cabe destacar que es una opción que se integra armoniosamente a su entorno, presentando así un paisaje agradable.



Imagen 40- Protección con enrocado en Southwater Caye. Fuente: Propia

7.4.1.2. Formulaciones

Debido a la escasa profundidad en la que se ubica la obra de contención, el oleaje en su propagación hacia el perímetro del muro se ve afectado por los fenómenos de rotura. La altura de ola que dimensionará el tamaño de roca necesario es la que llega o justo rompe sobre la obra. Esta altura de ola de diseño se calcula mediante las formulaciones de McCowan o Goda en función de la profundidad en la que se encuentre en cada tramo. Una vez obtenida las alturas de ola de diseño, se procede a determinar el peso necesario de la roca empleando la formulación de Van der Meer para profundidades reducidas

Rotura del oleaje

Por este motivo se han utilizado las siguientes formulaciones con el fin de determinar cuál es la altura de ola que justo rompería a dicha profundidad. Las formulaciones de rotura por fondo consideradas son:

- Mc Cowan

En el caso de considerar una onda solitaria en profundidades intermedias o reducidas, lugar donde se encuentra ubicado la obra de contención, se puede considerar que el perfil se vuelve inestable cuando el parámetro:

$$\gamma_b = H_b / h_b$$

Se suele emplear el valor de $\gamma_b = 0.78$ obtenido por McCowan(1984). Donde H_b es la altura de ola que rompería a la profundidad h_b (m).

- Goda

$$H_{s,b} / L_0 = 0.17 [1 - \exp(-1.5 \pi h_b / L_0) (1 + 15 (\tan \beta)^{4/3})]$$

Donde:

L_0 = Longitud de onda en profundidades indefinidas

$\tan \beta$ = pendiente del fondo marino

Se han calculado ambas formulaciones pero se ha utilizado Goda como la dimensionante ya que Mc Cowan es para olas solitarias, pero se ha empleado para verificar la proximidad de los resultados obtenidos.

Calculo de los pesos de la roca

La formulación de Van der Meer en aguas poco profundas, se divide en dos dependiendo del tipo de rotura del oleaje. A continuación se muestran ambas formulaciones:

- Para olas rompiendo en voluta-colapso sobre el rompeolas:

For **plunging conditions** ($\xi_{s-1,0} < \xi_{cr}$):

$$\frac{H_s}{\Delta D_{n50}} = c_{pl} P^{0.18} \left(\frac{S_d}{\sqrt{N}} \right)^{0.2} \left(\frac{H_s}{H_{2\%}} \right) (\xi_{s-1,0})^{-0.5}$$

- Para olas sin romper (oscilación) sobre el rompeolas

and for **surging conditions** ($\xi_{s-1,0} \geq \xi_{cr}$):

$$\frac{H_s}{\Delta D_{n50}} = c_s P^{-0.13} \left(\frac{S_d}{\sqrt{N}} \right)^{0.2} \left(\frac{H_s}{H_{2\%}} \right) \sqrt{\cot \alpha} (\xi_{s-1,0})^P$$

Donde:

$c_{pl} = 8.4$ (-), con una desviación estándar de $\sigma = 0.7$

$c_s = 1.3$ (-), con una desviación estándar de $\sigma = 0.15$

$H_{2\%}$ = Altura de ola excedida por el 2% del oleaje incidente en el pie de la estructura (m)

$\xi_{s-1,0} = \tan \alpha / \sqrt{(2\pi H_{m0} / (g T_{m-1,0}^2))}$, donde $H_{m0} = H_s$

$T_{m-1,0}$ = periodo medio espectral

ξ_{cr} :

$$\xi_{cr} = \left[\frac{c_{pl}}{c_s} P^{0.31} \sqrt{\tan \alpha} \right]^{1/P+0.5}$$

7.4.1.3. Otros aspectos a considerar en el diseño

Debido a la escasa profundidad de la zona y para facilitar el proceso constructivo se ha decidido emplear el mismo material para toda la sección.

- Ancho de coronación:

Se va a considerar un ancho de coronación de 5 piezas, con el fin de minimizar el caudal de agua que debido al run-up llegue hasta la zona protegida del tradós.

- Taludes:

El talud debe ser tendido para dar estabilidad al dique y permitir cierta deformabilidad al mismo, sin que se produzca el fallo de la estructura.

- Asientos en las piezas

El material que se encuentra bajo la obra de contención está formado por materiales blandos, y debido a la baja profundidad no se puede realizar un saneo del mismo. Por esta razón las piedras cuando se coloquen sufrirán un asentamiento en el terreno natural hasta su estabilización.

Se ha estimado un volumen extra de material para compensar estos asentamientos del orden de los 0.5 m de altura por la anchura de la base de la protección.

- Geotextil

Se ha considerado la colocación de una malla de geotextil para retener las arenas que puedan escaparse entre los huecos de la roca.

- Cota de coronación

La cota de coronación del relleno es la +0.7 m, por lo que el geotextil debe llegar hasta esa cota como mínimo. Para evitar que el geotextil se deteriore y se rompa por los agentes climáticos (oleaje, sol, viento, etc.), debe quedar bien sujeto dentro de del núcleo de rocas (y evitar lo sucedido en Devond Island). Por ello se ha considerado un espesor de 2 piedras entre la cota de coronación del geotextil y la cota de coronación de la obra de contención. Con esto, la cota de coronación del dique quedará a la 1,25 m. Y en el talud expuesto al oleaje se ha dejado un espesor entre el geotextil y la cara exterior de 3 piezas.

En la siguiente imagen se representan los criterios anteriormente explicados:

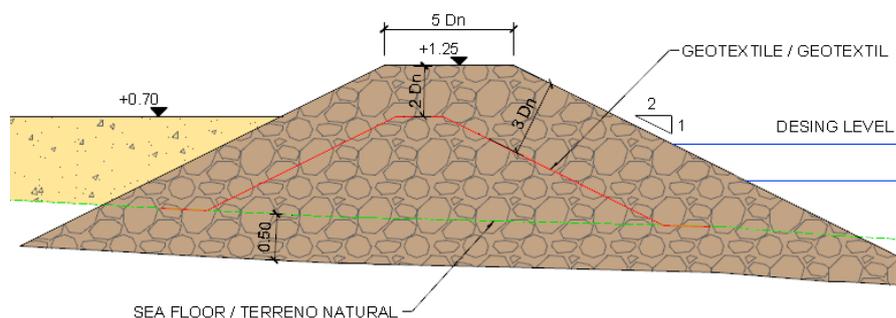


Imagen 41- Distancias consideradas en la Sección tipo dique de escollera

7.4.1.4. Resultados

En este apartado se muestra un resumen de los cálculos realizados, que quedan recogidos en el Anexo de cálculos.

Las hipótesis de cálculo consideradas son:

- Porosidad $P = 0.6$
- Periodos de cálculo: periodo pico de $T_p = 10s$ y un periodo medio de $T_m = 5s$
- Duración de tormenta de 5-6 horas.

En la siguiente tabla se recoge las alturas de ola que rompen a las profundidades en las que se encuentra la obra de contención y los resultados de los pesos de las rocas que son estrictamente necesarios en función de la profundidad:

Profundidad respecto el MSL (m)	Profundidad + nivel de diseño (m)	Altura de ola (Mc Cowan)	Altura de ola (Goda)	Altura de ola de diseño considerada	Peso de la Roca (kg)
0.1	0.5	0.390	0.398	0.398	11
0.3	0.7	0.546	0.555	0.555	27
0.5	0.9	0.702	0.712	0.712	46.5
0.6	1	0.780	0.790	0.790	47
0.7	1.1	0.858	0.867	0.867	58

Tabla 4-Resultados de los pesos necesarios en la solución en talud

Con la finalidad de simplificar la puesta en obra, se ha decidido unificar los pesos en toda la longitud de la obra de contención, estando éste comprendido entre los 50 kg y los 60 kg.

7.4.1.5. Sección tipo

La sección tipo considerada es la que se muestra a continuación:

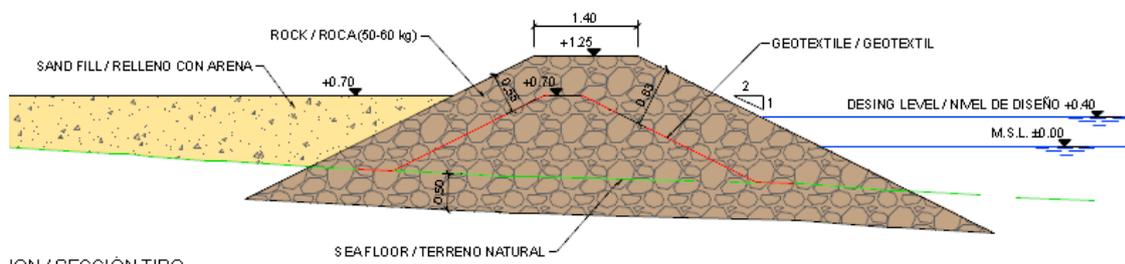


Imagen 42- Sección tipo dique de escollera

7.4.2. ALTERNATIVA 2 y 3 – PROTECCIÓN CON GAVIONES

7.4.2.1. Introducción

Los muros de gaviones son estructuras flexibles, constituidas por cajas fabricadas de malla de alta resistencia. En el caso de utilizarse sumergidos en agua se emplean gaviones de materiales plásticos. Las dimensiones de los mismos se comercializan en fracciones de medio metro, las cuales son rellenas con roca sana. Esta conformación permite que se pueda realizar un esquema modular, lo que facilita la configuración de una amplia variedad de posibilidades de geometría para el muro.

En el sitio de la obra, los gaviones se unen entre sí con una costura manual del mismo material que el de la malla. Los bloques de roca que se utilizan para el llenado no deben ser susceptibles de meteorización o disgregación y deben tener una dimensión de al menos dos veces la menor apertura de paso de la malla, para evitar pérdidas de material y asegurar la mayor densidad posible.

El material que contiene el muro de gaviones, en este caso arenas, es colocado posteriormente a la construcción del muro. Los empujes del terreno que se contiene con el muro, junto con las cargas del oleaje forman las cargas que actúan sobre el propio muro. Por lo tanto, este debe ser dimensionado de forma tal que soporte estas cargas sin que se produzca una rotura o deformación excesiva de su estructura.

Los gaviones son de fácil instalación y se adecuan e integran armoniosamente a su entorno, logrando que inclusive la vegetación pueda desarrollarse en ella, presentando así, un paisaje agradable.



Imagen 43- Ejemplos de gaviones plásticos

Se colocan en su ubicación definitiva vacíos, una vez ahí, son rellenos con piedra. Como las operaciones de armado y relleno de piedras son sencillos, utilizando gaviones se pueden ejecutar obras que de otro modo requerirían mucho más tiempo y operarios especializados

Hay que destacar que los gaviones requieren de un mantenimiento aproximado cada 3-6 meses para revisar el estado del mallado o posibles pérdidas de material.

7.4.2.2. Alternativas

En el presente informe se han propuesto dos alternativas de gaviones. Una de ellas es similar a la opción considerada en el estudio de erosión, mientras que con la segunda se pretende mejorar dicha alternativa. La diferencia radica en contar con una o dos alturas de gaviones. Debido a las irregularidades del terreno, hay que considerar en cada alternativa dos tamaños de gaviones con el fin de intentar que toda la obra de contención corone a la misma cota. No obstante se realizaría un relleno para nivelar la cota del terreno con el mismo tamaño de roca con el que se rellena los gaviones. En la siguiente imagen se muestra el perfil longitudinal de la obra de contención y se indica la zona a rellenar para así nivelar el fondo.

Una vez analizadas ambas alternativas de gaviones, se presupuestará aquella que aporte mayor fiabilidad y estabilidad a la obra de contención.

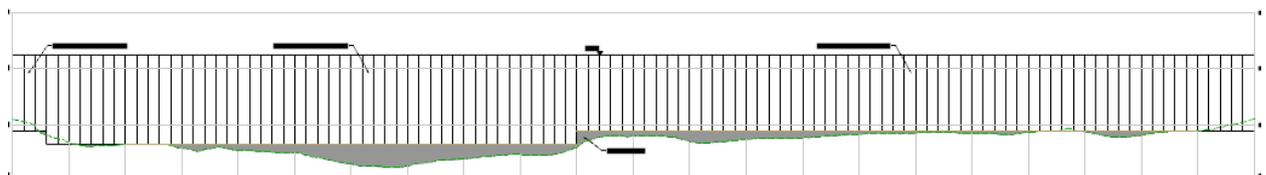


Imagen 44- perfil longitudinal de la trayectoria de gaviones

En ambas alternativas se emplearía un Geotextil y una malla anti socavación que se colocaría sobre el relleno del fondo y bajo los gaviones. Ver imagen a continuación:



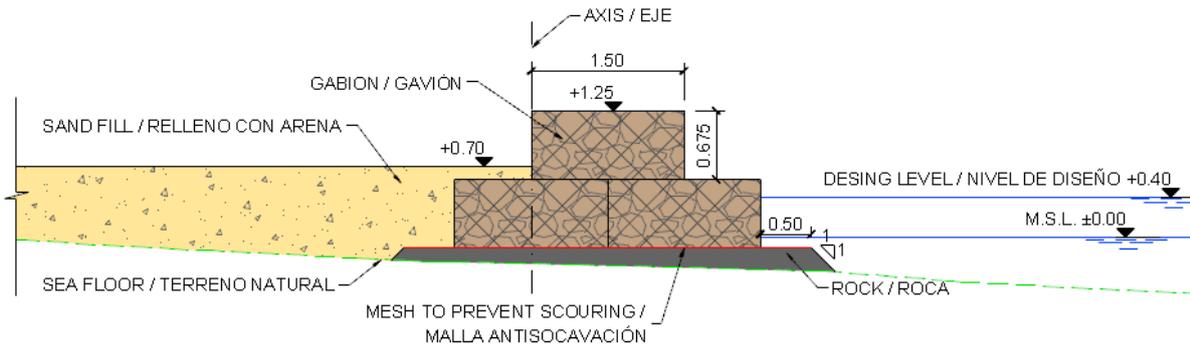
Imagen 45- Malla anti socavación

A continuación se definen cada una de las alternativas:

- Alternativa 2:

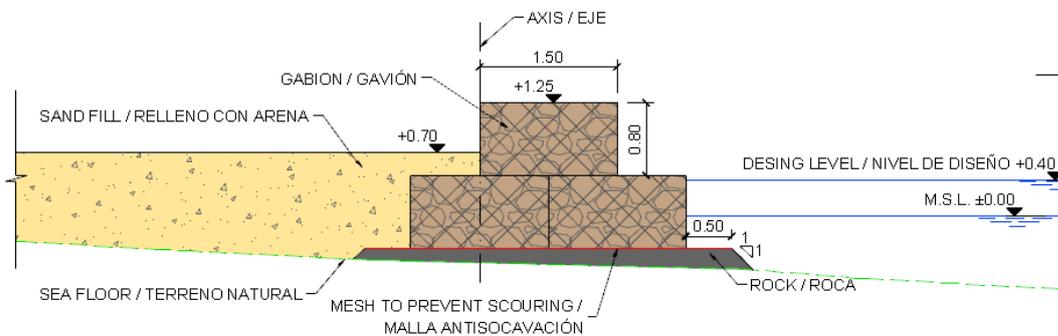
- Gavión 1:

Sus dimensiones son: 1.50m de ancho, 1.60m de alto y 2 m de longitud.



- Gavión 2:

Sus dimensiones son: 1.50m de ancho, 1.35m de alto y 2 m de longitud

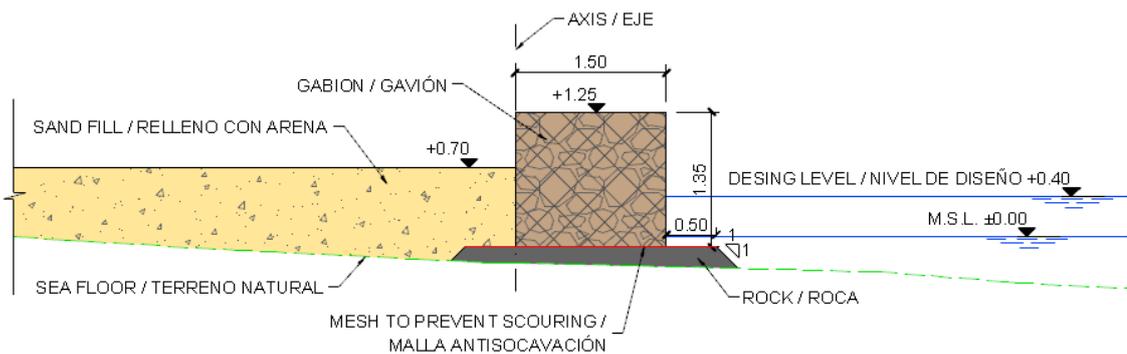


▪ Alternativa 3:

Los dos tamaños a emplear de gaviones son los siguientes:

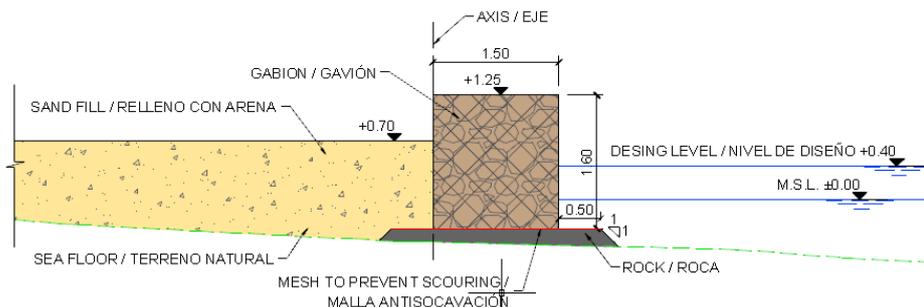
- Gavión 3:

Dimensiones de 1.50m de ancho, 1.35m de alto y 2 m de longitud



- Gavión 4:

Sus dimensiones son: 1.50m de ancho, 1.60m de alto y 2 m de longitud.



7.4.2.3. Formulaciones

Los muros de gaviones trabajan como muros de gravedad, siendo su función principal la de soportar los empujes laterales del terreno y la del oleaje.

Por otra parte, se debe tener presente que el muro en sí, es una estructura drenante, por eso no es posible que se generen empujes a causa del agua. No obstante, debido a que el empleo de los gaviones en este caso tienen la función de estructura masiva, es decir similar a un dique vertical, se va a considerar para su estabilidad como si éste funcionase como una unidad masiva sin permitir el drenaje del agua, aumentando por tanto los empujes y obteniendo así un factor de seguridad al tener mayores empujes que los que realmente tendría.

Fuerzas

- Las fuerzas a considerar serán:

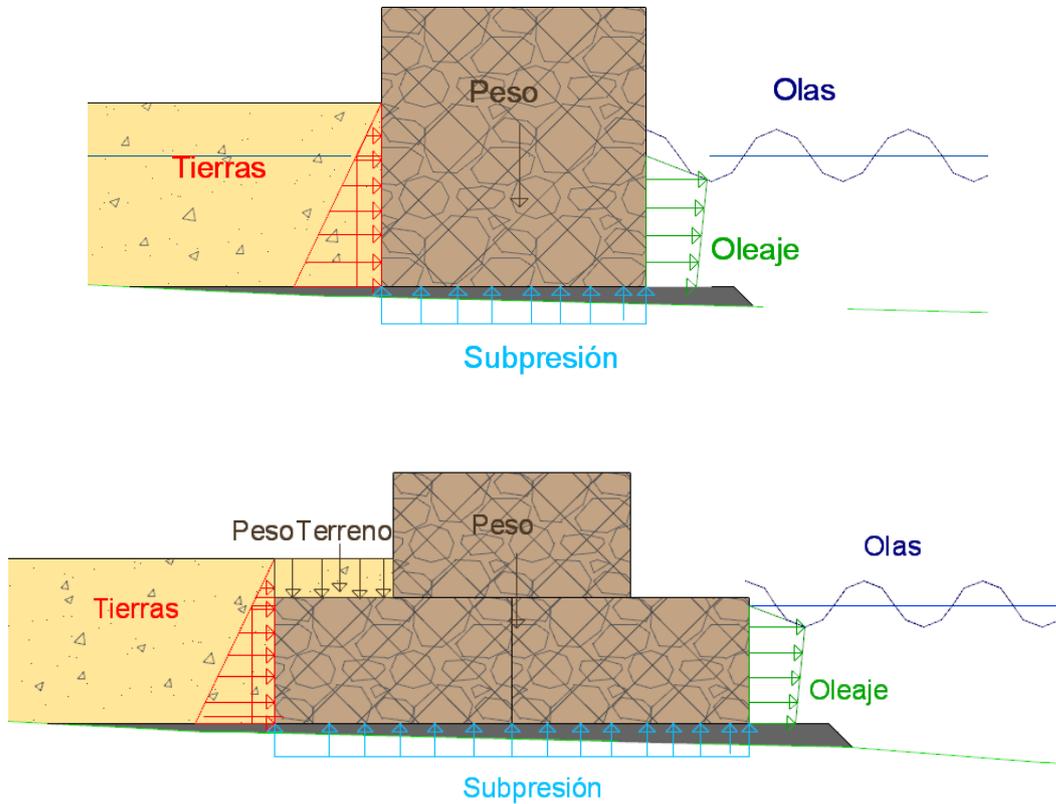


Imagen 46- Esfuerzos a los que se ve sometido la sección tipo de gaviones. Elaboración Propia

- Empuje del oleaje (Efecto seno)

Se ha considerado el efecto seno de la ola ya que lleva la misma dirección que el empuje de tierras. Si se considerara el efecto cresta lo que haría sería estabilizar la sección al tener sentido opuesto al empuje de tierras.

La formulación empleada es:

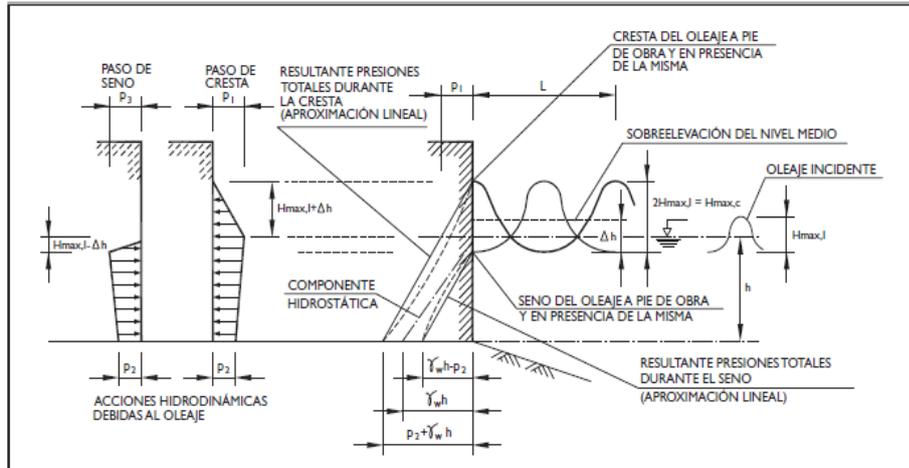


Imagen 47- Esfuerzos debidos al oleaje. Elaboración Propia

- Empuje de tierras

$$E_a = \frac{1}{2} \cdot K_a \cdot \gamma \cdot H^2$$

$$K_a = \frac{\cos^2(\phi' - \alpha)}{\cos^2 \alpha \cdot \cos(\alpha + \delta') \left[1 + \frac{\text{sen}(\phi' + \delta') \cdot \text{sen}(\phi' - \beta)}{\cos(\alpha + \delta') \cdot \cos(\alpha - \beta)} \right]^2}$$

Si se particulariza para un parapeto vertical con dos capas de berma diferenciadas (cubos de hormigón y enrocado), las leyes del empuje activo serán tal y como se muestran en la figura siguiente:

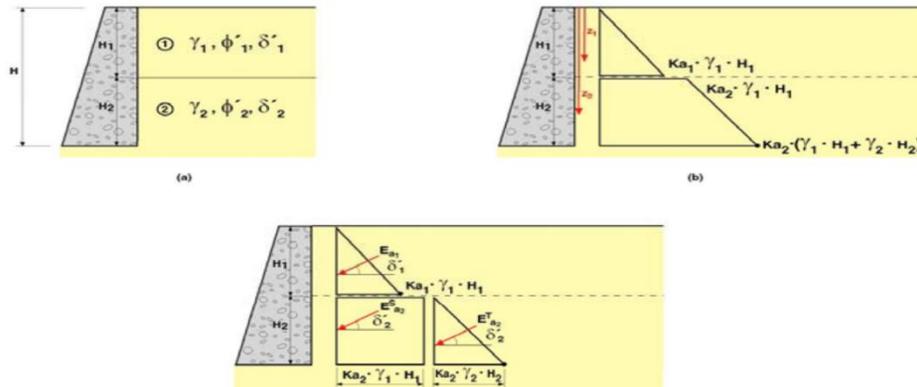


Imagen 48- Fórmulas de Coulomb para parapeto vertical con dos capas de berma diferenciadas.

Se ha considerado $\delta=30^\circ$ para las arenas

- Coeficientes de estabilidad

Se comprobará su estabilidad a deslizamiento y volcamiento rígido...

Se calculará el coeficiente de volcamiento y deslizamiento de la siguiente forma (DOP):

$$CS_{des} = \frac{c_f \times (P - S_u)}{F_h}$$

$$CS_v = \frac{M_p - M_u}{M_{Fh}}$$

Siendo:

CS_{des} = Coeficiente de estabilidad al deslizamiento;

CS_v = Coeficiente de seguridad al volcamiento;

c_f = Coeficiente de fricción, 0.6

P = Peso propio del gavión

S_u = Subpresión

F_h = Fuerzas horizontales

M_p = Momento debido al peso

M_u = Momento debido a las subpresiones

M_{Fh} = Momento debido a las fuerzas horizontales

Los valores adoptados para los coeficientes de seguridad son:

Modo de fallo	Coeficientes
Deslizamiento	1.5
Vuelco	1.5

Tabla 5. Coeficientes de seguridad en los modos de fallo a deslizamiento y volcamiento rígido

■ Resultados:

Se han estudiado de cada alternativa los gaviones de mayor altura ya que son los que mayores esfuerzos sufren. Se han estudiado de la Alternativa 1 el gavión tipo 2 y de la Alternativa 3 el tipo 4, cuyos resultados se muestran a continuación Resultados de la Alternativa 2

CÁLCULO DE ESTABILIDAD	DESIZAMIENTO	Mínimo coeficiente	1.50	
		Deslizamiento	2.25	CUMPLE
	VUELCO	Mínimo coeficiente	1.50	
		Vuelco	20.92	CUMPLE

Tabla 6. Resultados de los coeficientes de seguridad en los modos de fallo a deslizamiento y volcamiento rígido para la Alternativa 2

Resultados de la Alternativa 3

CÁLCULO DE ESTABILIDAD	DESPLIZAMIENTO	Mínimo coeficiente	1.50	
		Deslizamiento	2.02	CUMPLE
	VUELCO	Mínimo coeficiente	1.50	
		Vuelco	8.46	CUMPLE

Tabla 7. Resultados de los coeficientes de seguridad en los modos de fallo a deslizamiento y volcamiento rígido para la Alternativa 3

■ Conclusiones:

La Alternativa 2 que tiene un sistema escalonado proporciona mayor estabilidad al proyecto y al relleno de playa, tal y como se observa en su coeficiente de estabilidad frente al vuelco. Por lo que se aconseja emplear la Alternativa 2 antes que la 3. Por este motivo se estudia la Alternativa 2 como la alternativa óptima mediante el empleo de gaviones

Notas:

- Se recomienda instalar un liner de geotextil tejido para controlar las fugas de arena.
- Se recomienda considerar un tapete anti socavación debajo de los gaviones que se asienten sobre fango o sedimento muy fino.

8. DRAGADO

Como ya se comentó anteriormente durante las reuniones mantenidas, el personal del Departamento de Pesca fue el que indicó que para favorecer el crecimiento de Mangle en la zona rellenada no valía cualquier relleno. Este sedimento debe de cumplir una serie de requisitos desde el punto de vista de contenido de nutrientes que favorezcan el crecimiento del Mangle, por este motivo se comentó que se debe dragar en una zona interior del arrecife, ya que fuera de esta zona las arenas que se obtendrían serían de bajo contenido en nutrientes.

Se hizo hincapié que el dragado se realizase en la zona próxima al nuevo muelle para así también ganar calado y poder dar cabida a embarcaciones mayores.

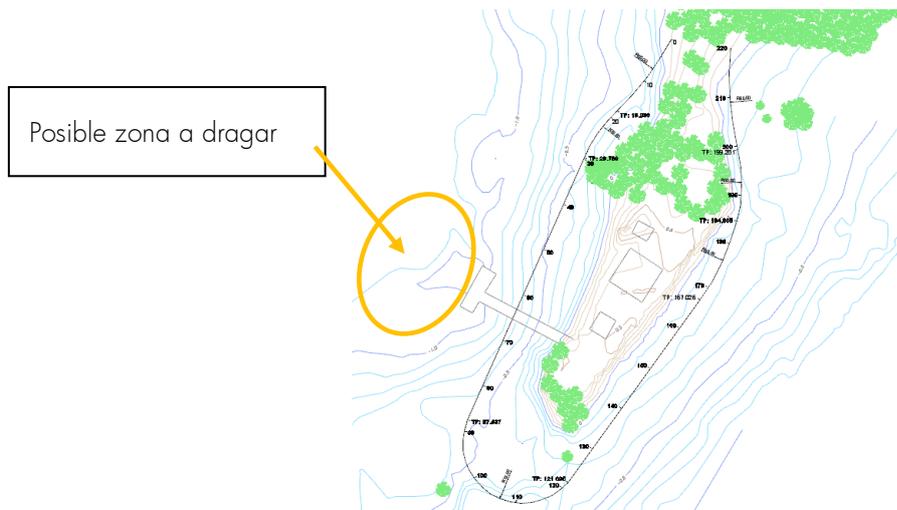


Imagen 49- Croquis de la ubicación propuesta por el Departamento de pesca para realizar el dragado

Posteriormente durante la visita de campo se comentó la posibilidad de emplear una pequeña bomba para dragar el sedimento desde la zona del muelle. La adquisición de este equipo permitiría utilizarse para futuros dragados de mantenimiento.

En el presente documento no se ha especificado cual será el método de extracción y bombeo, por lo que se ha considerado un precio estándar del mismo que repercutirá de igual manera en las Alternativas.

9. MEDIDAS MEDIOAMBIENTALES

Se debe tener en cuenta que la obra de contención se encuentra dentro de una zona protegida, por lo que el cuidado y protección del medio ambiente debe primar en todo momento. A continuación se exponen algunas de las medidas a considerar:

9.1. CONSERVACIÓN DEL MANGLE

Una de las principales causas que han llevado a la erosión de los cayos ha sido la eliminación de mangle por parte del hombre para así ganar playas. Esto tipo de acciones han sido contraproducentes, ya que una de funciones del mangle es la de retener el sedimento, por ello entre otros motivos se están teniendo problemas de erosión.

Se especifica en el presente informe que se debe de respetar todos y cada uno de los mangles que quedan dentro del perímetro del muro de contención. Para ellos se deben de realizar pequeños taludes para evitar que cuando se rellene el cayo hasta la cota +0.7 m, sus raíces no queden cubiertas de arena y causando su muerte. A continuación se muestra un esquema de la sección que se debe considerar:

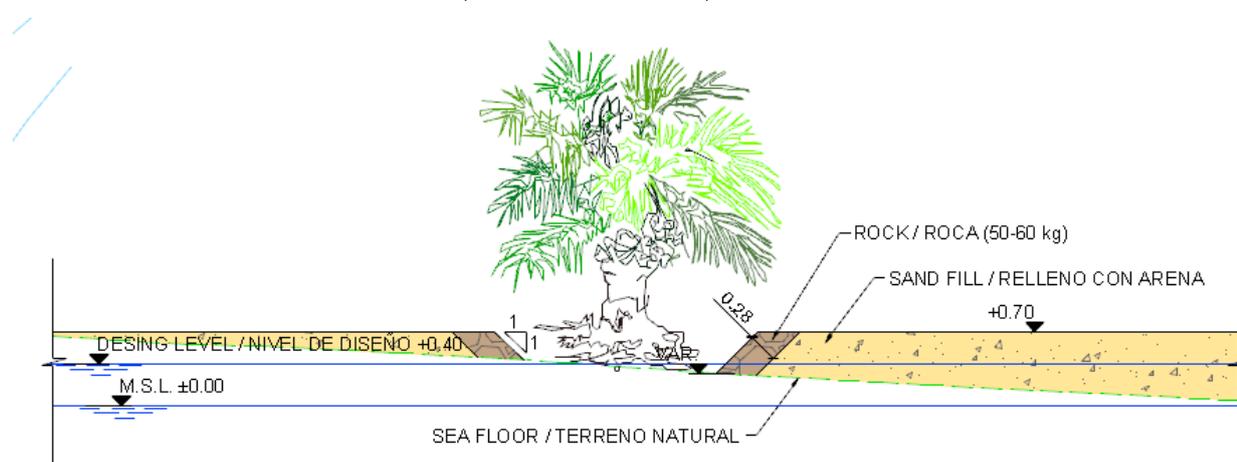


Imagen 50- Croquis de los resguardos a considerar en los mangles que quedan dentro del perímetro de la obra de contención

9.2. PLANTAR MANGLE NUEVO EN EL PERÍMETRO EXTERIOR DEL MUERO DE CONTENCIÓN

Una vez construido la obra de contención, se aconseja plantar Mangle en sus inmediaciones. De esta forma se conseguirá reducir la incidencia del oleaje y retener el sedimento. En la siguiente imagen se muestra como en uno de los cayos visitados crece el mangle.



Imagen 51- Ejemplos de crecimiento de nuevos mangles

9.3. TORTUGAS

Una de las informaciones transmitidas por el personal del departamento de pesca fue que en Twin Caye, es una de las zonas de desove de las tortugas marinas.



Imagen 52- Tortuga marina

9.4. BARRERAS DE CONTENCIÓN

En la zona de dragado se debe de tener especial cuidado por la turbidez que generan, ya que podría afectar a los arrecifes cercanos a la zona.

Para evitarlo se deberían de emplear barreras para la contención de los sedimentos que generan turbidez en trabajos de dragados. Van equipadas con una cortina geotextil de diferentes calados, de material filtrante que retienen los sedimentos.



Imagen 53- Barrera de contención

10. PRESUPUESTO DE LAS ALTERNATIVAS

Se recoge a continuación un presupuesto aproximado del coste de las alternativas analizadas de protección con enrocado y muro de gaviones. Las cifras están expresadas en dólares americanos.

10.1. ALTERNATIVA 1: PROTECCIÓN CON ENROCADO

Alternativa 1: Protección enrocado							
	Material	Descripción	Coste unitario		Medición		Coste total (USD)
t	Roca de 50 a 60 kg	Escollera de 50 a 60 kg colocada en talud, incluido suministro, transporte y colocación por medios marítimos o y/o terrestres	15.8	USD /t	4,088.27	T	64,594.69
m2	Geotextil	Suministro, transporte y colocación de geotextil	5	USD /m2	1,340.92	m2	10,660.31
m ³	Dragado	Extracción y bombeo, incluso transporte y vertido del material dragado al recinto de vertido.	12	USD /m3	1,678.56	m3	32,026.92
h	Supervisión	Supervisión de la obra, incluso transporte hasta la obra	90	USD /hora	64	h	5,760.00
LS	Contingencias	Partida para imprevistos y contingencias			20 %		22,600.00
							135,641.93

10.1. ALTERNATIVA 2: PROTECCIÓN CON GAVIONES

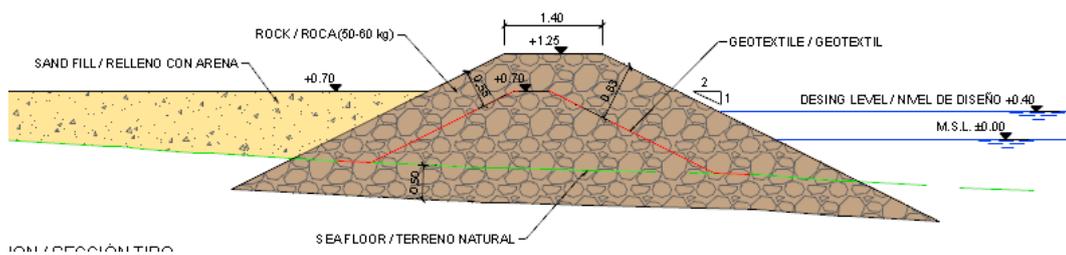
Alternativa 2: Gaviones							
	Material	Descripción	Coste unitario		Medición		Coste total (USD)
ud	Gavión tipo 3	Fabricación, traslado e importación a Belice de gaviones de 1.50m de ancho*0.675m alto*1 m de largo, incluso equipos, personal y colocación en obra	166.32	USD/ud	378.00	ud	62,868.96
ud	Gavión tipo 4	Fabricación, traslado e importación a Belice de gaviones de. 150m de ancho*0.8m alto*1 m de largo, incluso equipos, personal y colocación en obra	198.8	USD/ud	282.00	ud	56,061.60
m3	Relleno de rocas	Roca empleada para el relleno de los gaviones cuyo tamaño va desde los 20 cm como máximo y utilizando menores tamaños para rellenar huecos. Incluso transporte y colocación	1	USD /T	1,146.59	T	16,052.24
m2	Geotextil	Liner de geotextil, incluido transporte y colocación	5	USD /m2	364.50	m2	1,822.50
m2	Tapete anti socavación	Malla anti socavación, incluido transporte y colocación	13	USD /m2	880.00	m2	11,440.00
m3	Dragado	Extracción y bombeo, incluso transporte y vertido del material dragado al recinto de vertido.	12	USD /m3	1,982.30	m3	23,787.60
m3	Relleno de enrase con grava	Enrase con grava en formación de banqueteta para apoyo de gaviones totalmente extendida y nivelada a la cota de proyecto, incluso transporte y medios auxiliares.	14	USD /T	189.38	T	2,651.39
h	Supervisión	Supervisión de la obra, incluso transporte hasta la obra	90	USD /hora	64		5,760.00
LS	Contingencias	Partida para imprevistos y contingencias			20 %		36,100.00
							216,544.29

11. RECOMENDACIONES Y OPCIÓN ELEGIDA

De las conclusiones alcanzadas durante las visitas de campo y reuniones mantenidas, se descartan las obras de contención formadas por muros verticales de hormigón, tablestacas y muros o defensas de madera, así como cualquier otra solución de empleo de materiales antrópicos, contaminantes, desechos o conchas de caracol marino. Se ha planteado una nueva alternativa de contención con respecto a los estudios previos realizados, que es la de considerar un pequeño enrocado o talud de roca. No obstante, también se ha estudiado la opción de gaviones ya planteada con anterioridad, e incluso se plantea una alternativa a la misma (Alternativa 2) y así poder determinar qué solución es la más adecuada.

Son numerosos los Cayos que han utilizado en sus costas los diques en talud formados por roca. Mostrando un conocimiento y experiencia en la zona hacen que esta alternativa adquiera importancia frente a otras.

Se recomienda la alternativa 1 de enrocado o talud de roca, ya que no requiere de un mantenimiento constante, es una solución amigable y de bajo impacto, se tiene una gran experiencia en la zona, son diques deformables, cuenta con una fácil puesta en obra y un presupuesto menor. Se ha estimado un presupuesto de las obras de **135,641.93 USD**.

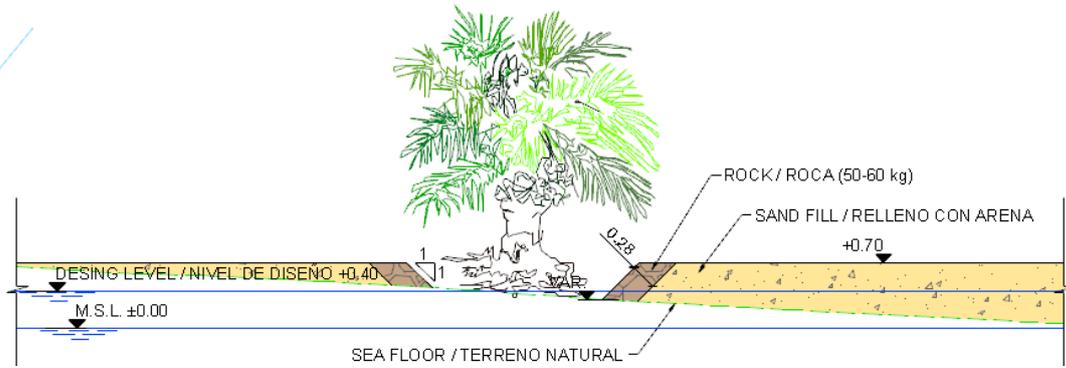


La sección típica de la solución propuesta consiste en un dique homogéneo con piedras de peso comprendido entre los 50 kg y los 60 kg. Se dispone en una sección trapezoidal con una anchura de coronación de 1,40 m y taludes 2H/1V. Se ha considerado la colocación de una malla de geotextil para evitar fuga de las arenas entre los huecos de la roca.

Las obras se completan con el vertido de arena en el trasdós del dique hasta la cota 0,70 m. Este material procederá de dragados cercanos, preferiblemente en las inmediaciones del muelle, de manera que se limpien los fondos para permitir atraque de embarcaciones.

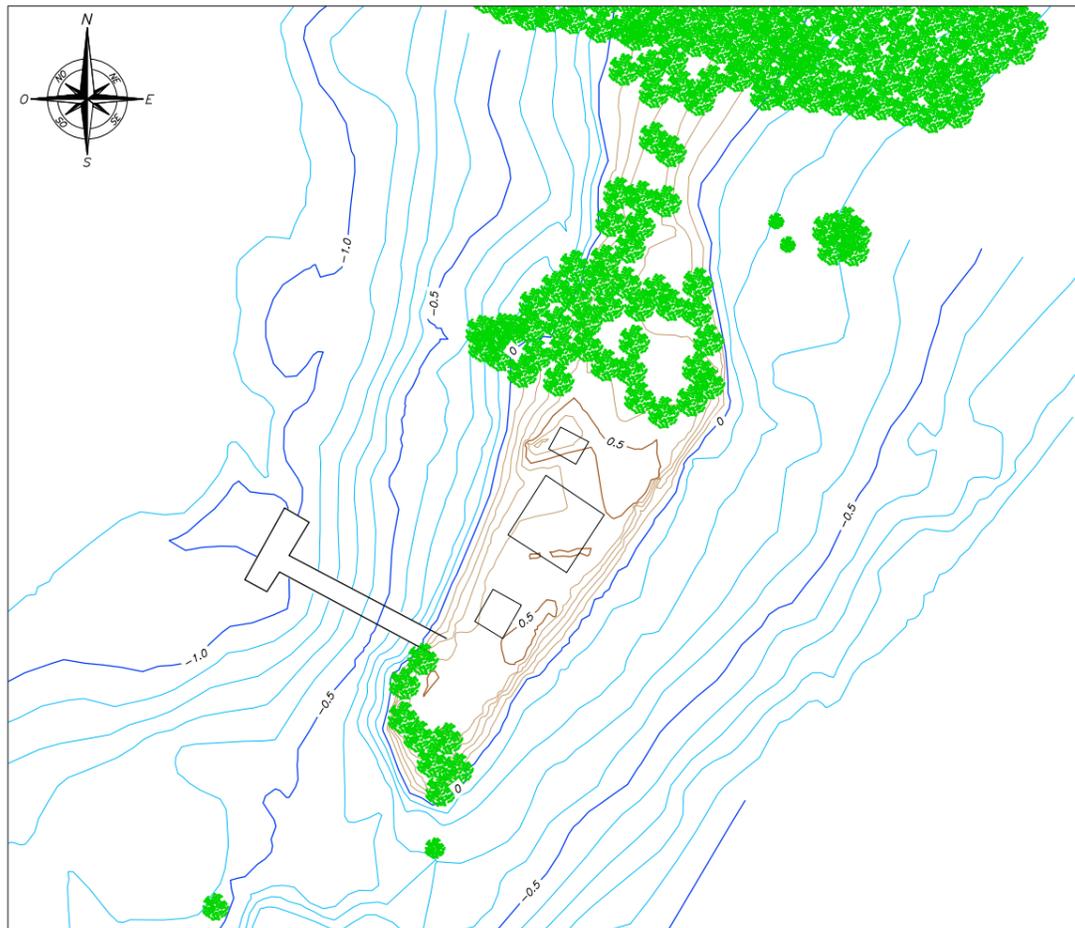
Se deben tener en cuenta adoptar las medidas ambientales necesarias durante la ejecución de las obras y después de la misma, conservando los mangles existentes y plantando nuevos ejemplares, tanto en el perímetro exterior como en el interior. Para la protección de los ejemplares de mangles que queden confinados en el interior del recinto, se ha previsto la realización de alcorques con piedra, que eviten la colmatación con arena de las raíces de los mangles.

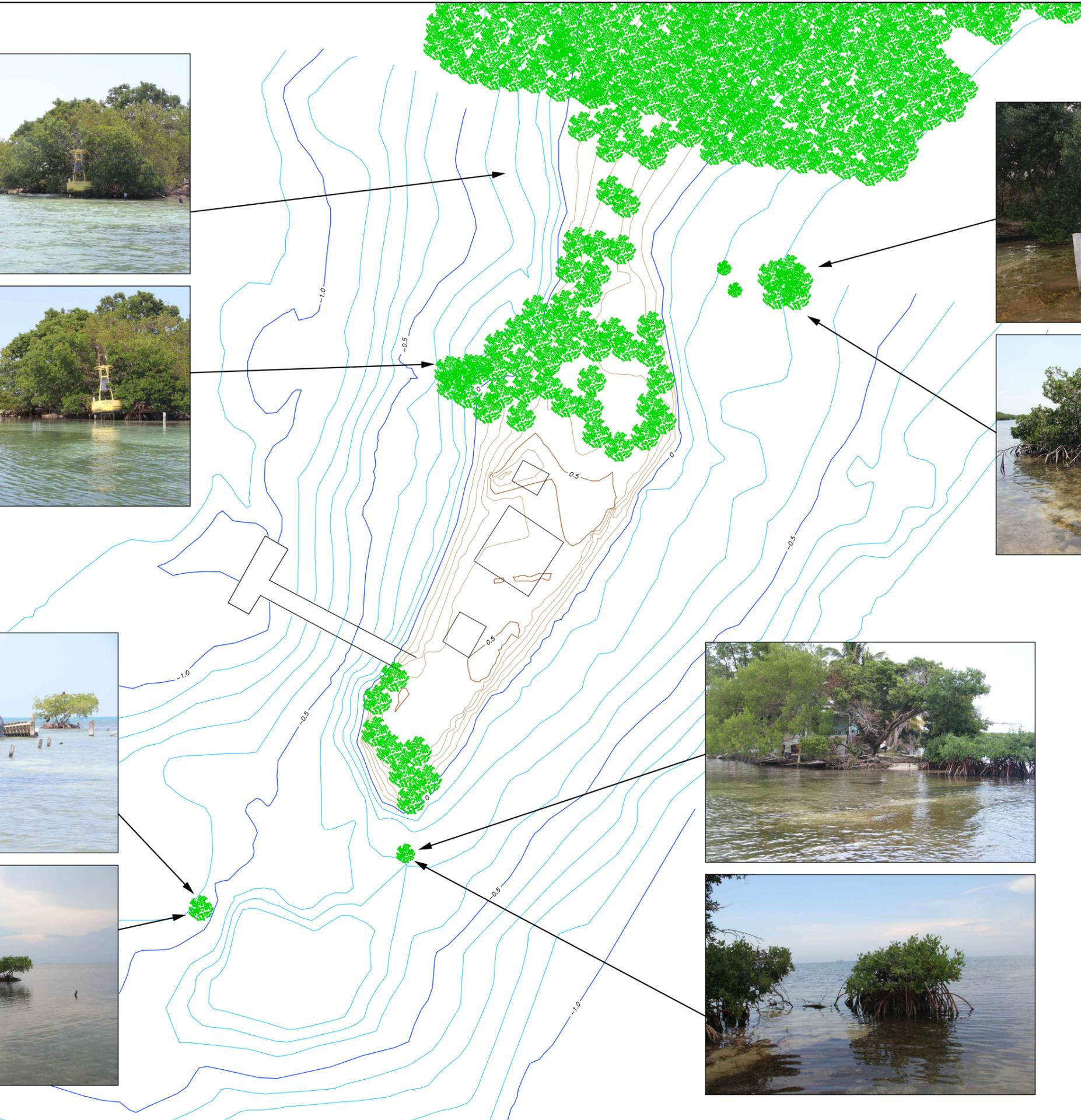
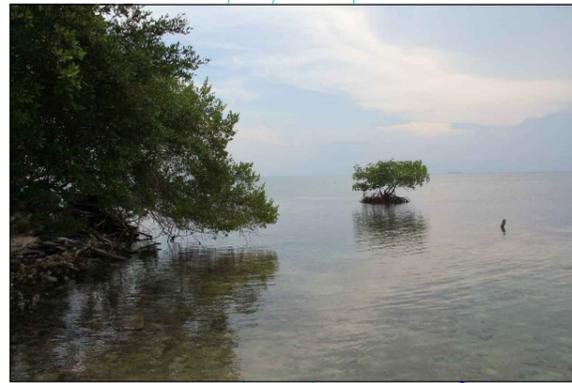
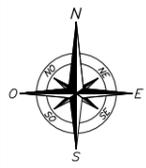
En cualquier caso se deberá realizar la evaluación ambiental correspondiente a un proyecto de estas características.



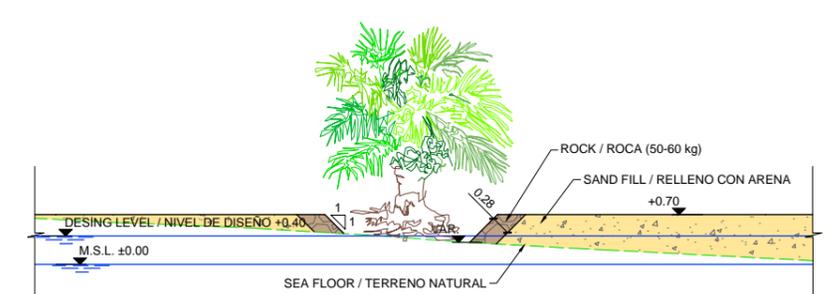
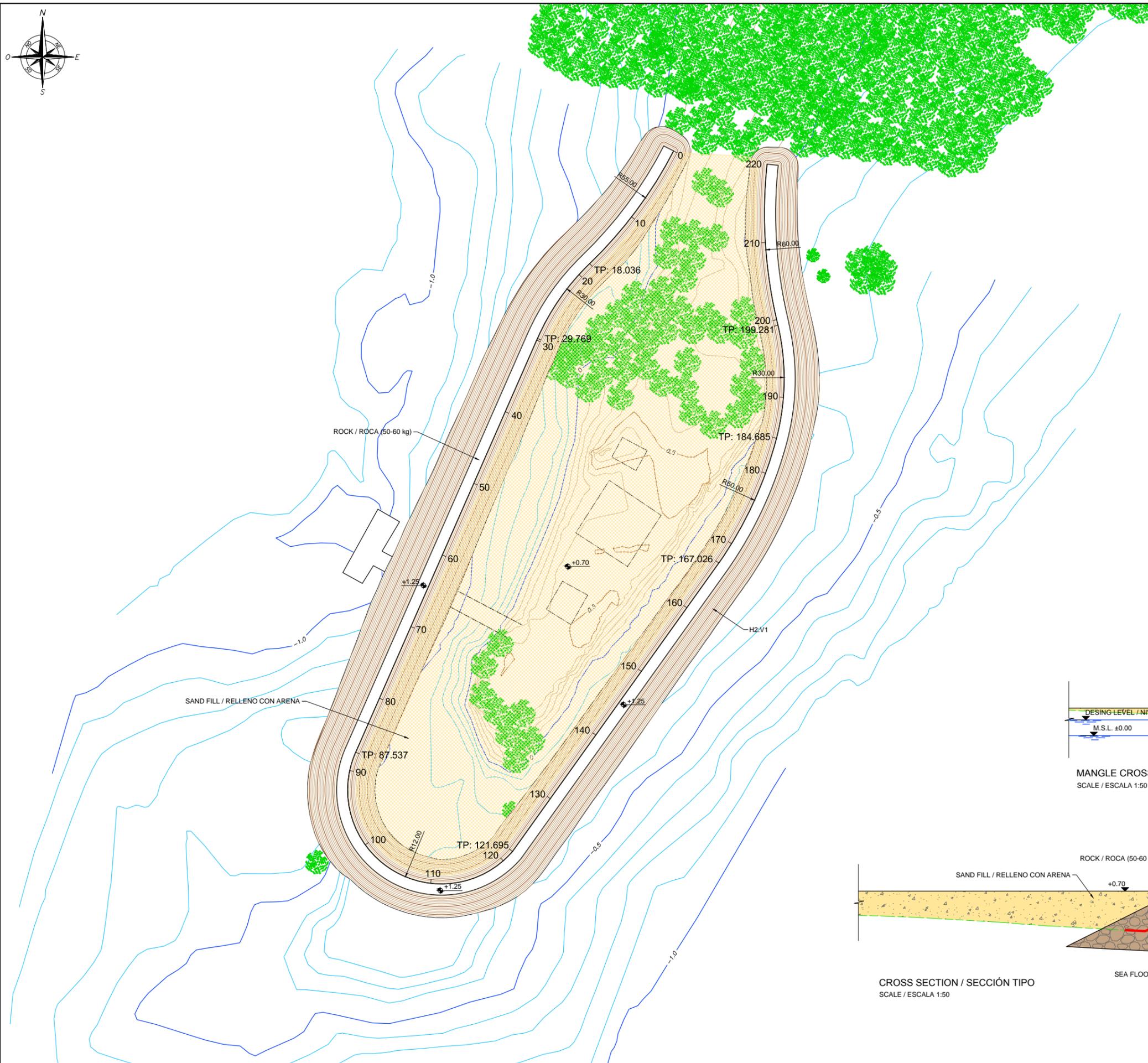


ANEXO I PLANOS

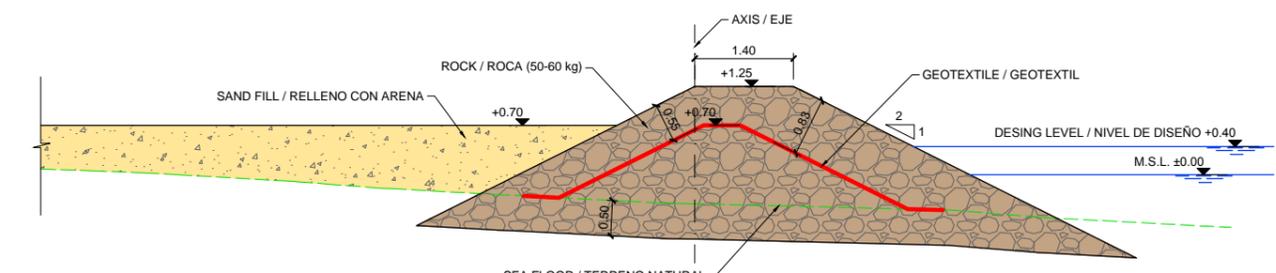




NOTE / NOTA:
THE LOCATION OF MANGLES ARE APPROXIMATE
LA LOCALIZACIÓN DE LOS MANGLES SON APROXIMADAS



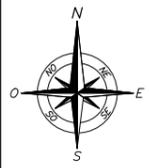
MANGLE CROSS SECTION / SECCIÓN TIPO MANGLAR
SCALE / ESCALA 1:50



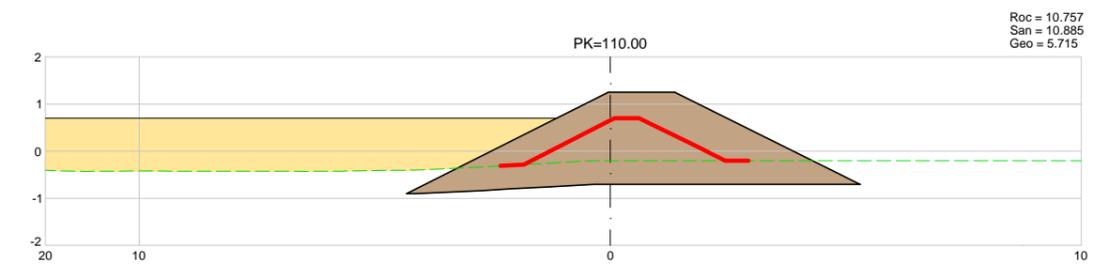
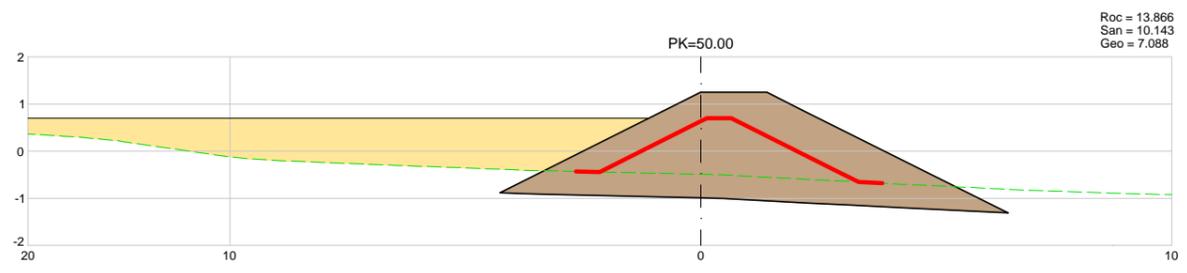
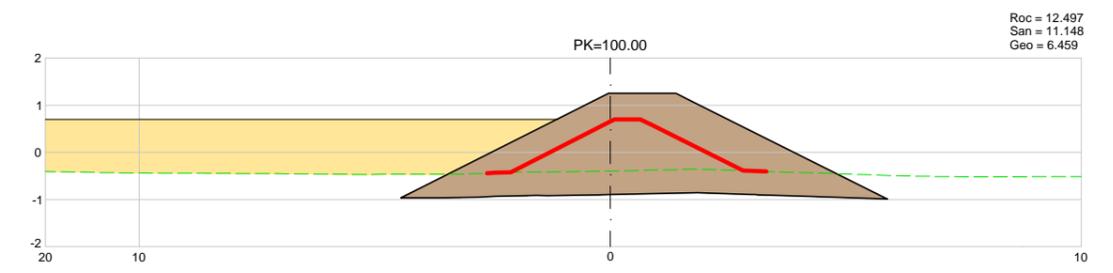
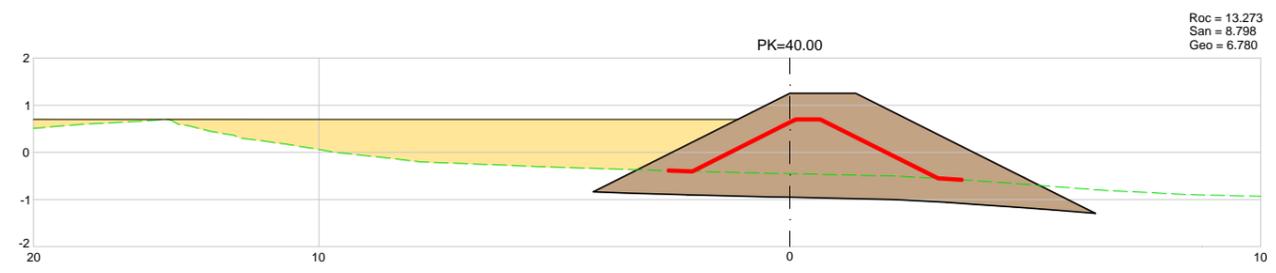
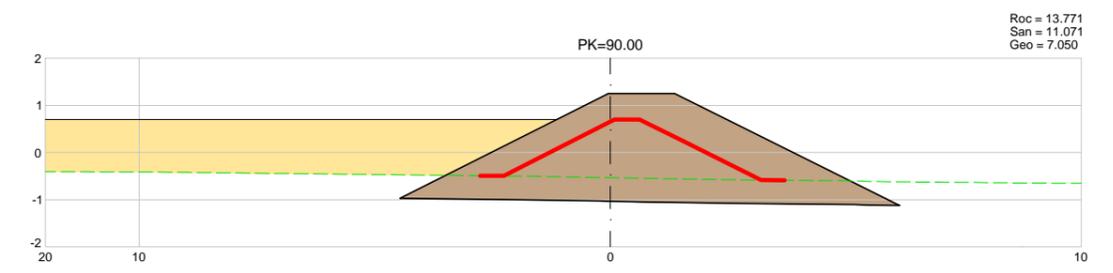
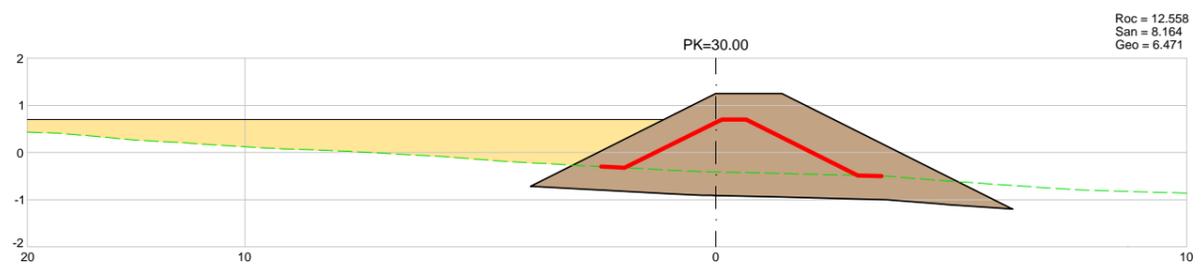
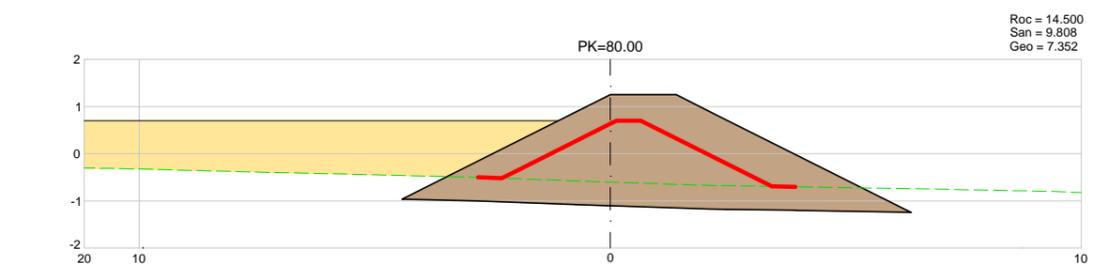
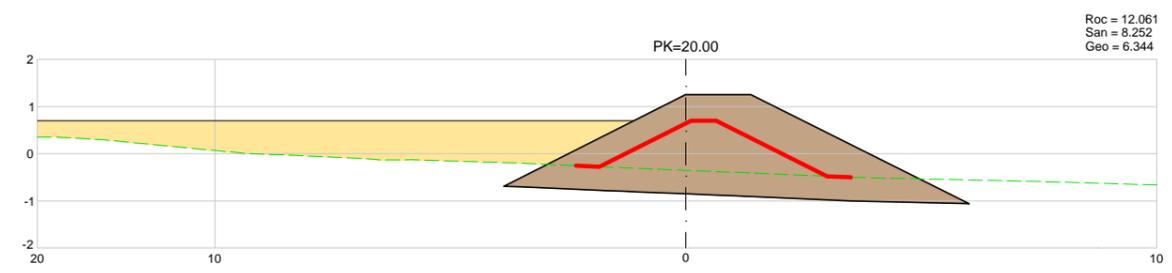
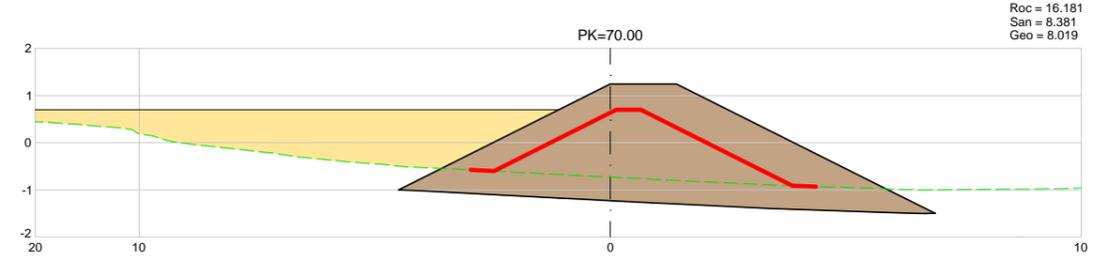
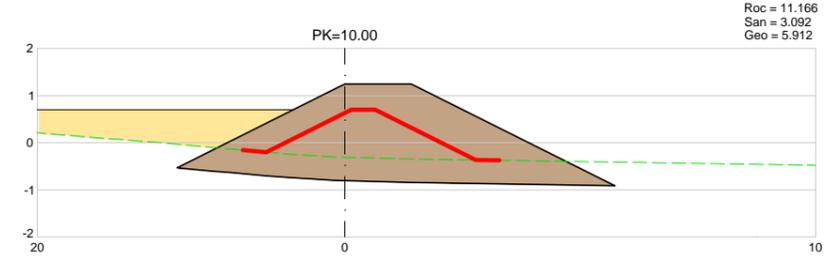
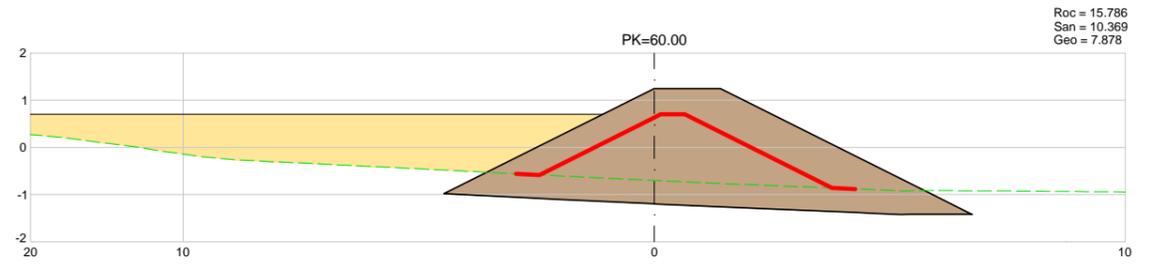
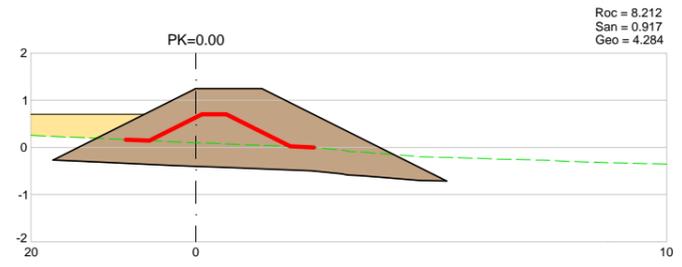
CROSS SECTION / SECCIÓN TIPO
SCALE / ESCALA 1:50

NOTE / NOTA:
THE LOCATION OF MANGLES ARE APPROXIMATE
LA LOCALIZACIÓN DE LOS MANGLES SON APROXIMADAS

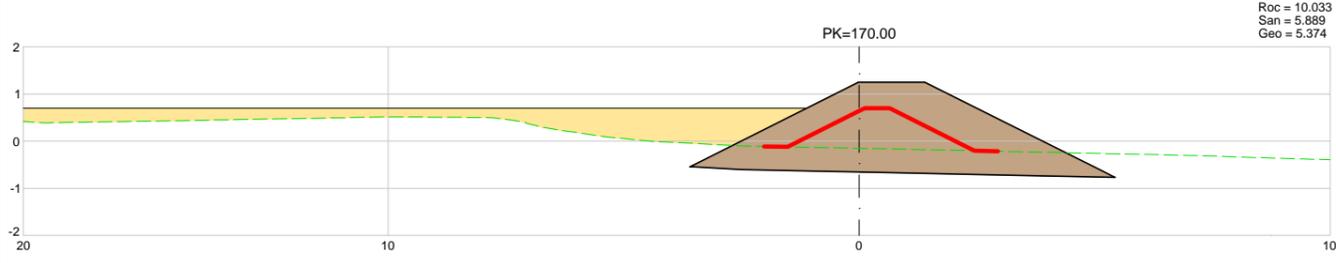
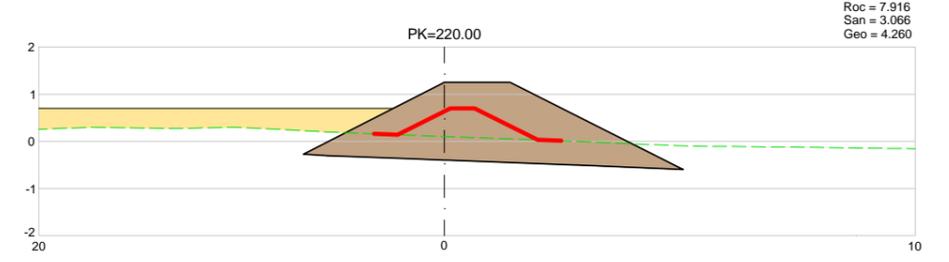
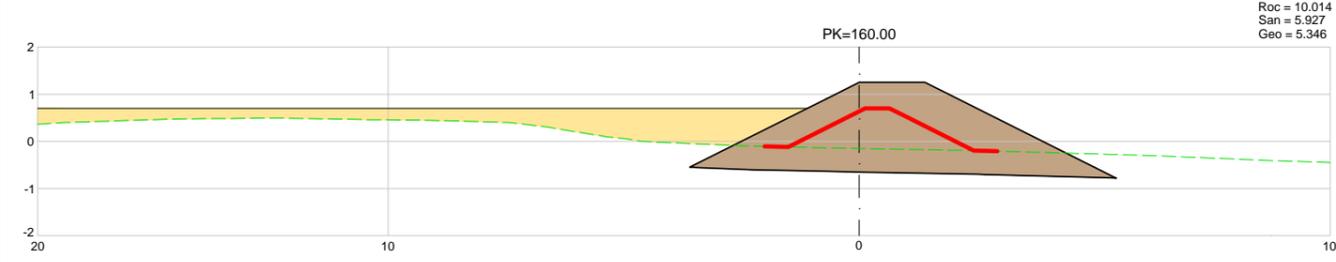
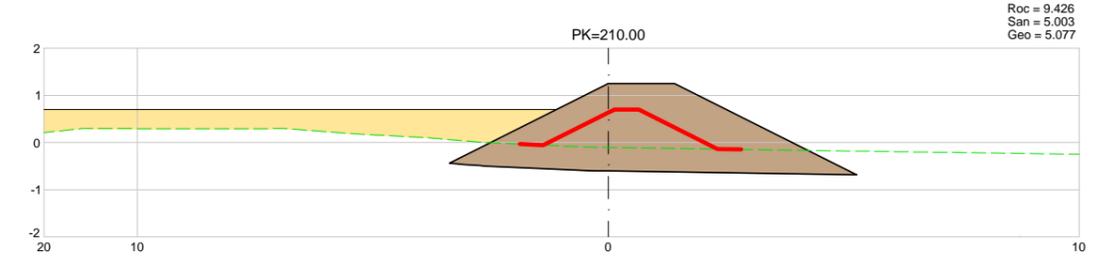
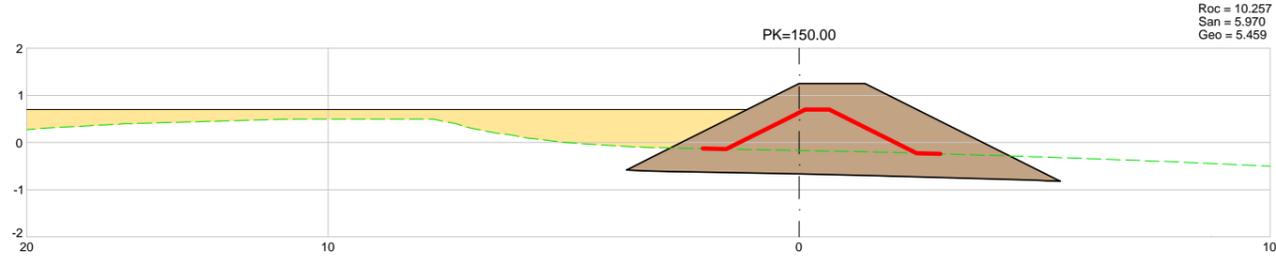
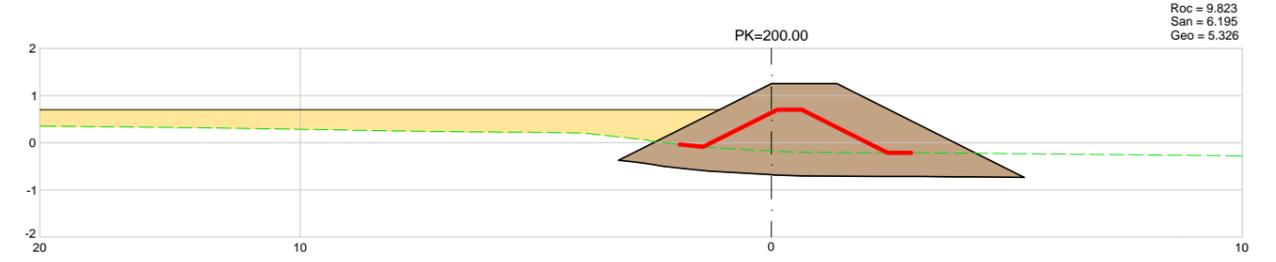
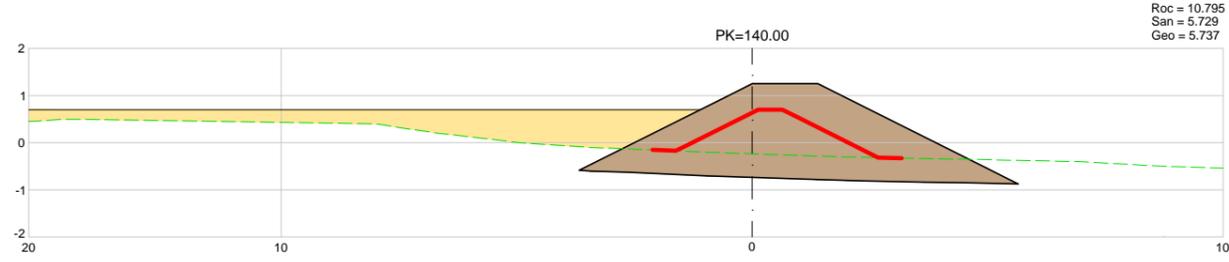
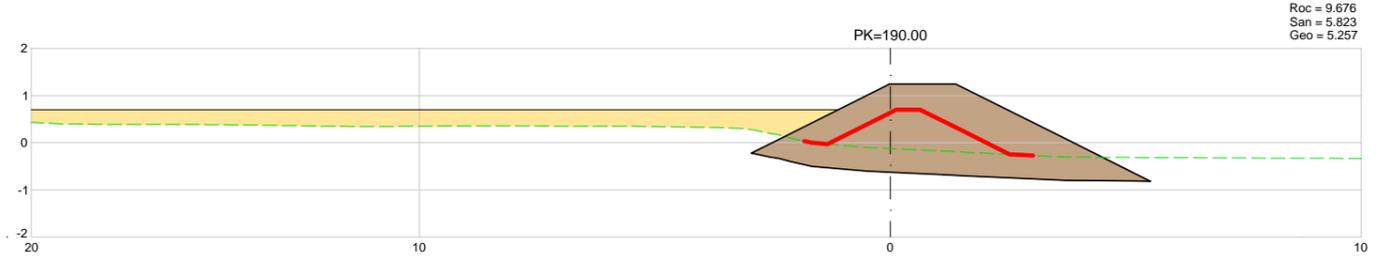
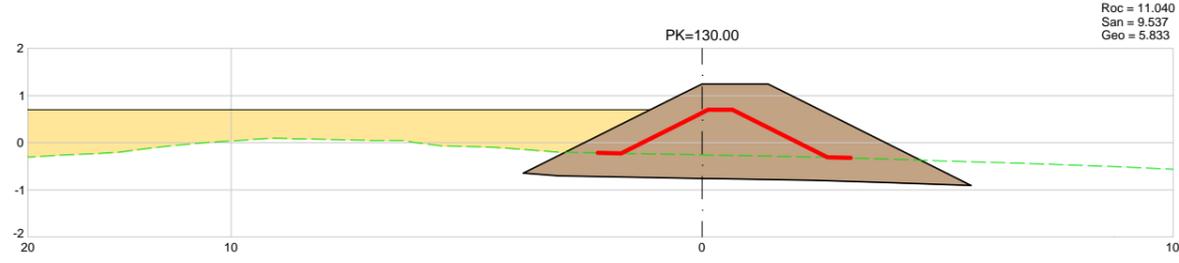
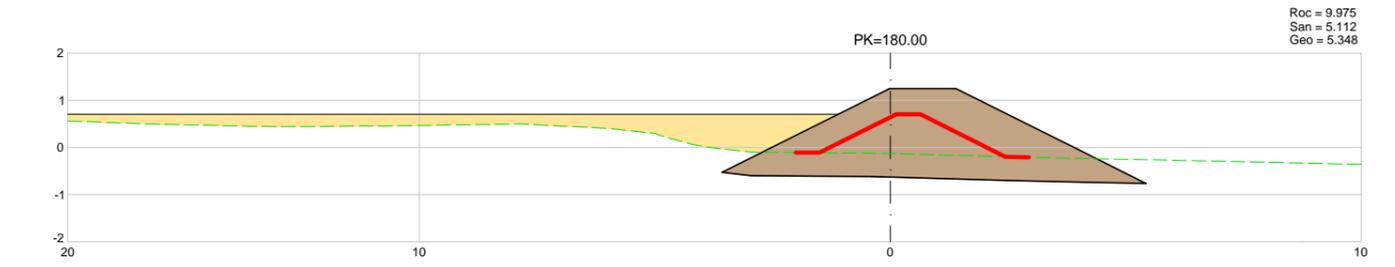
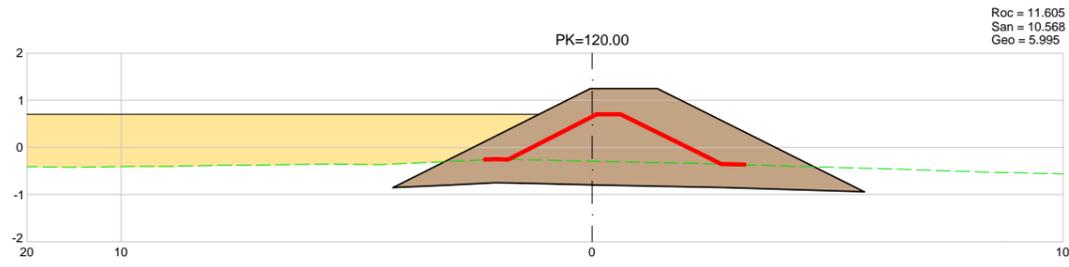




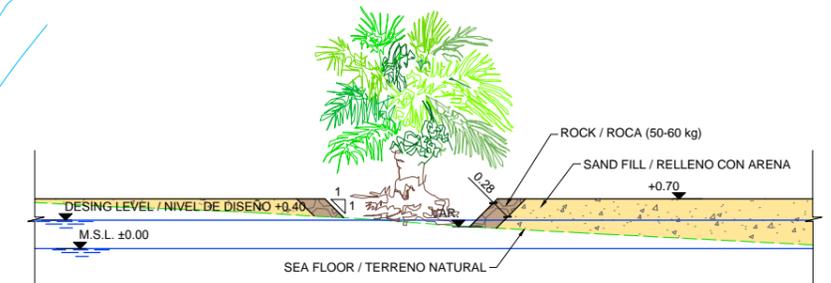
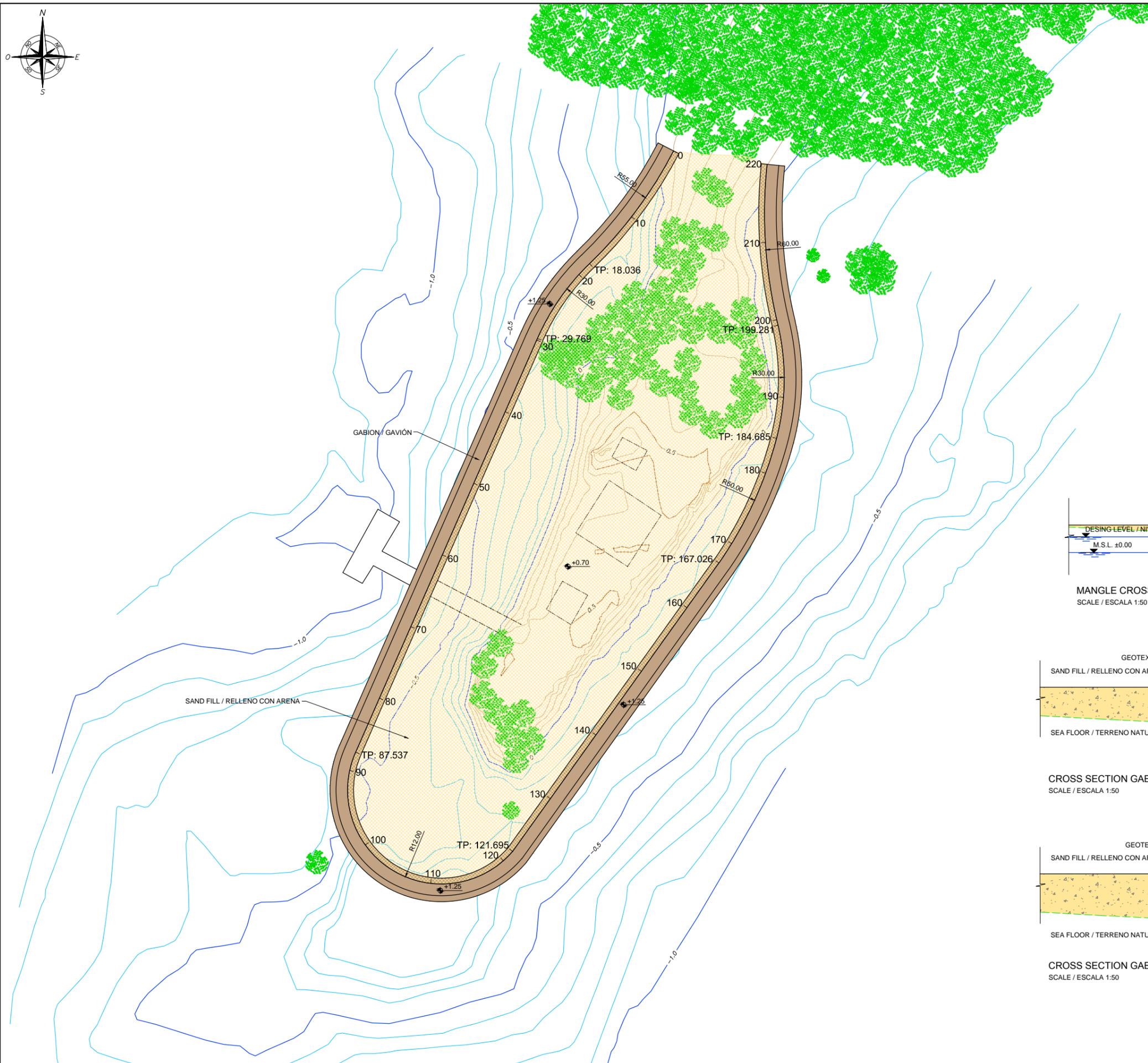
NOTE / NOTA:
 THE LOCATION OF MANGLES ARE APPROXIMATE
 LA LOCALIZACIÓN DE LOS MANGLES SON APROXIMADAS



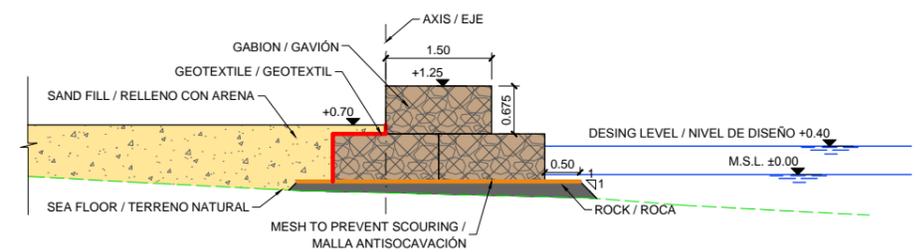
LEGEND / LEYENDA	
	Roc SURFACE ROCK / SUPERFICIE ROCA (50-60 kg) (m ²)
	San SURFACE SAND FILL / SUPERFICIE RELLENO DE ARENA (m ²)
	Geo LONGITUDE GEOTEXTILE / LONGITUD GEOTEXTIL (m)



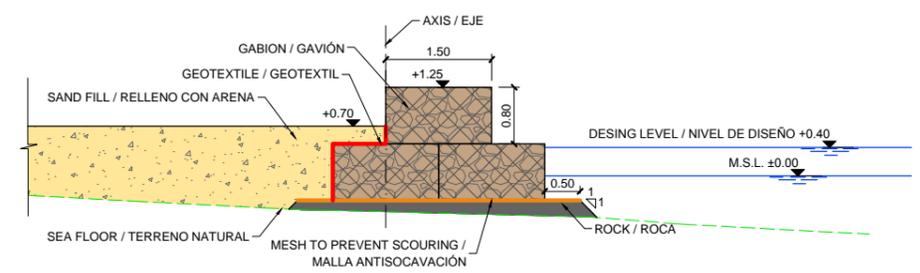
LEGEND / LEYENDA	
	Roc SURFACE ROCK / SUPERFICIE ROCA (50-60 kg) (m ²)
	San SURFACE SAND FILL / SUPERFICIE RELLENO DE ARENA (m ²)
	Geo LONGITUDE GEOTEXTILE / LONGITUD GEOTEXTIL (m)



MANGLE CROSS SECTION / SECCIÓN TIPO MANGLAR
SCALE / ESCALA 1:50



CROSS SECTION GABION 1 / SECCIÓN TIPO GAVIÓN 1
SCALE / ESCALA 1:50



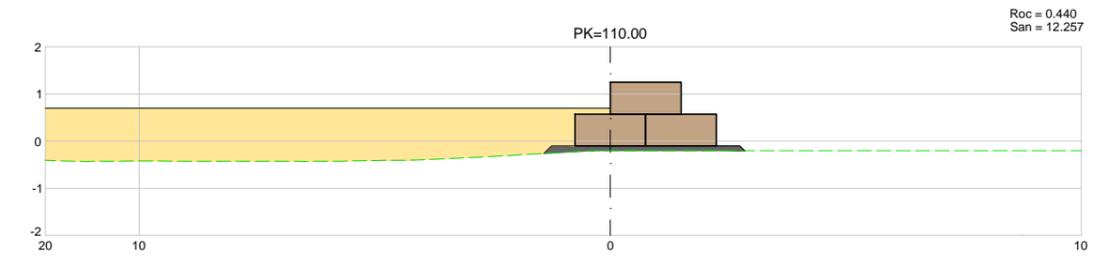
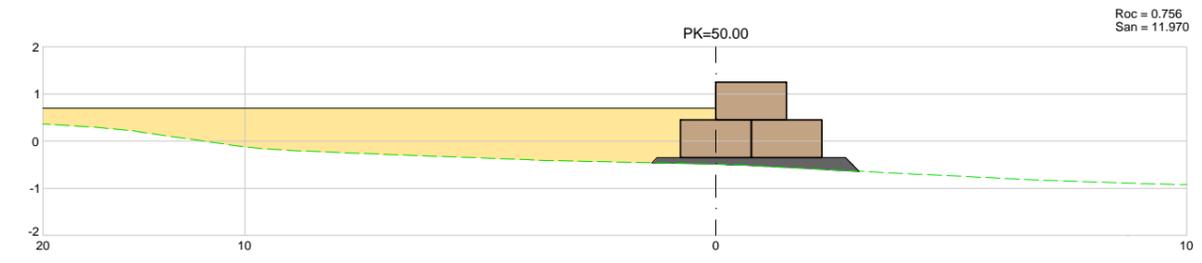
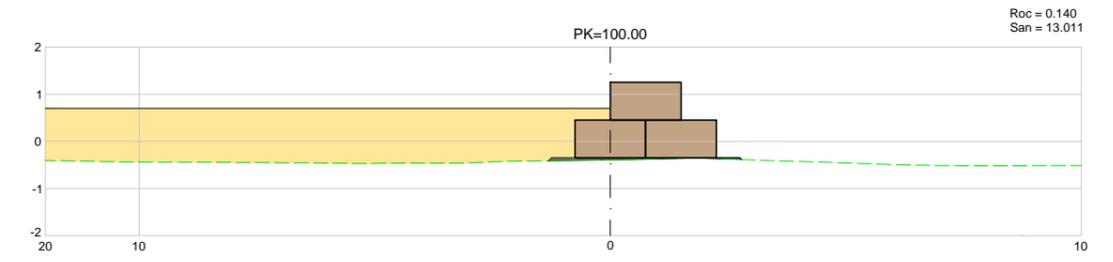
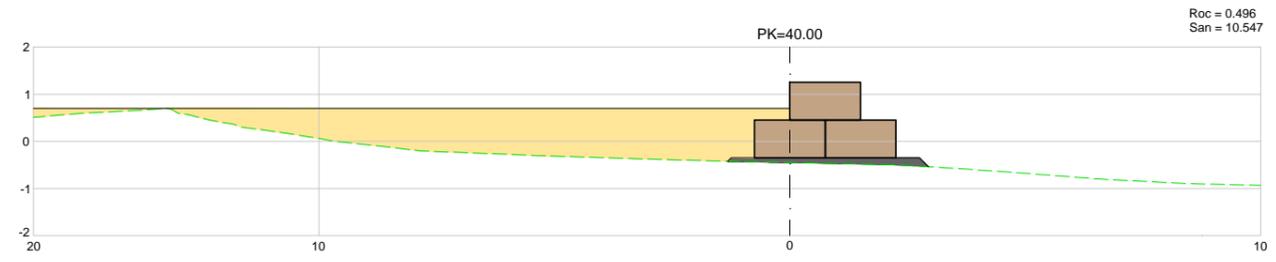
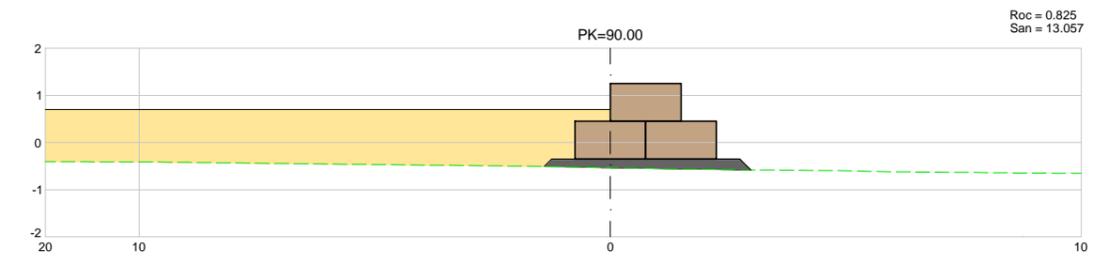
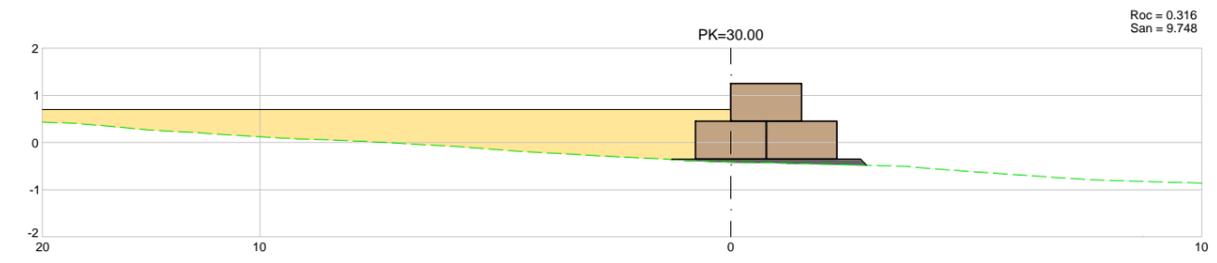
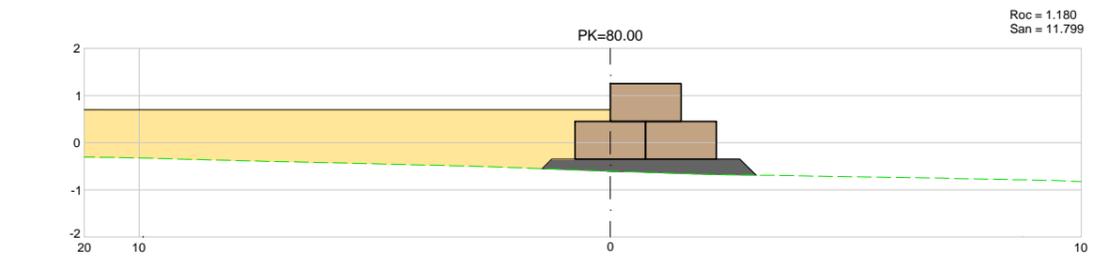
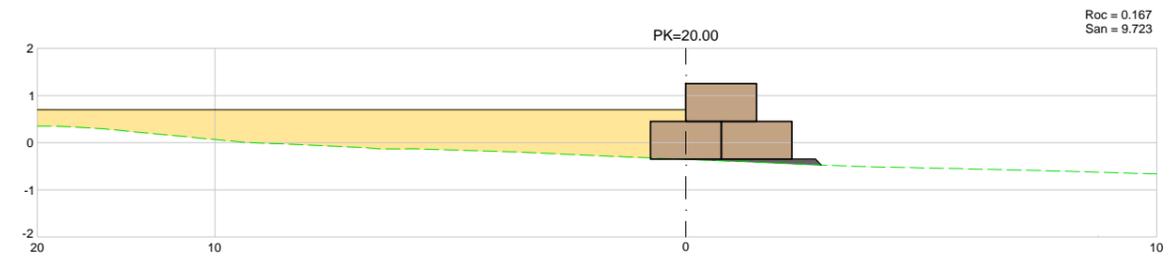
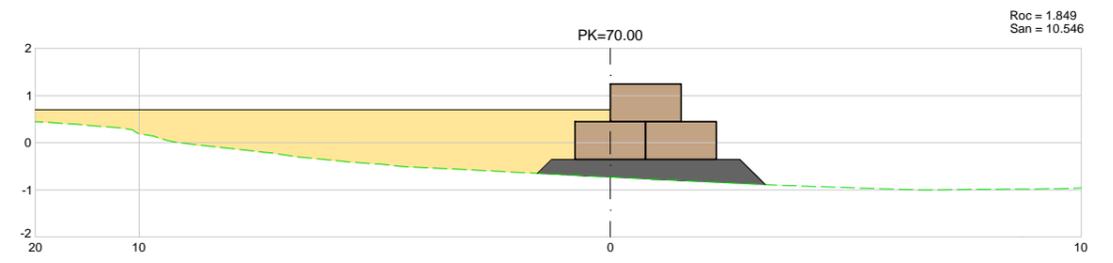
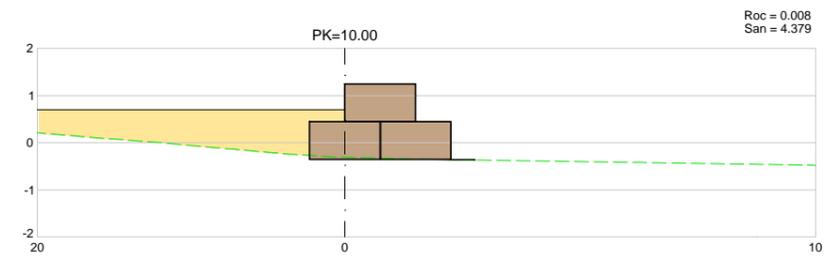
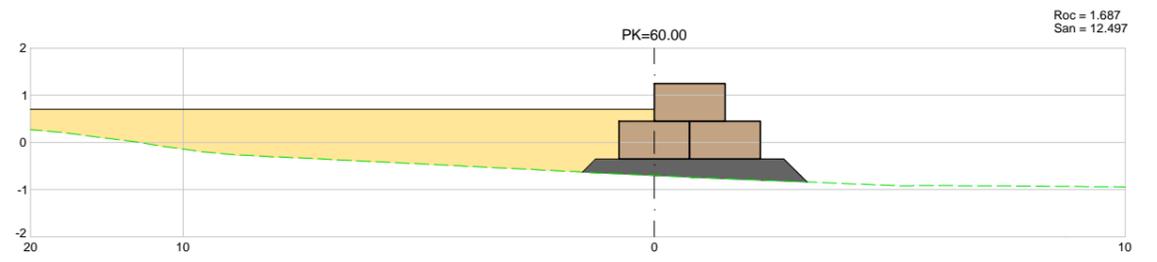
CROSS SECTION GABION 2 / SECCIÓN TIPO GAVIÓN 2
SCALE / ESCALA 1:50

NOTE / NOTA:
THE LOCATION OF MANGLES ARE APPROXIMATE
LA LOCALIZACIÓN DE LOS MANGLES SON APROXIMADAS

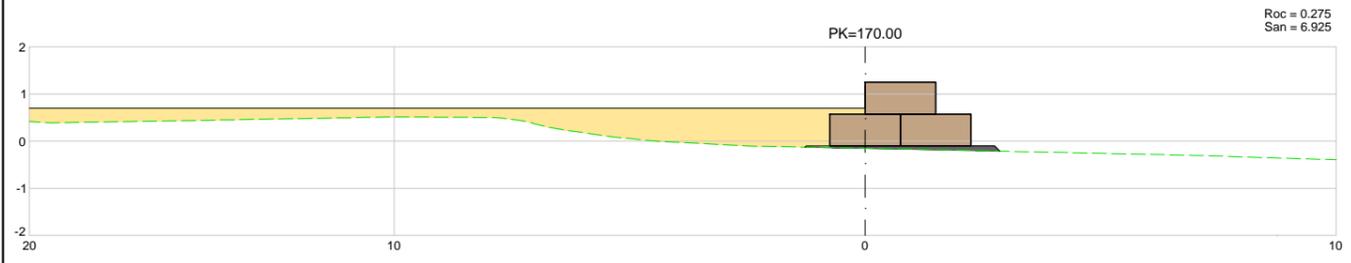
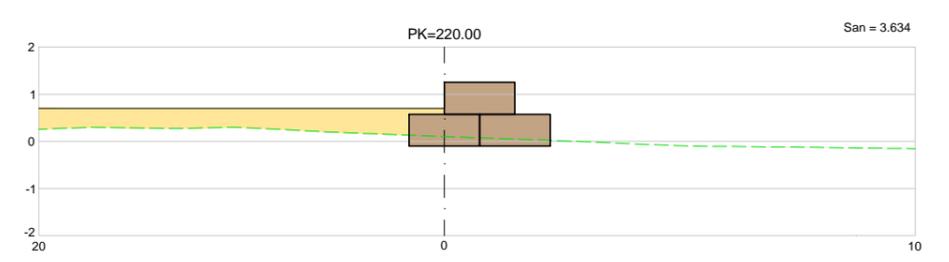
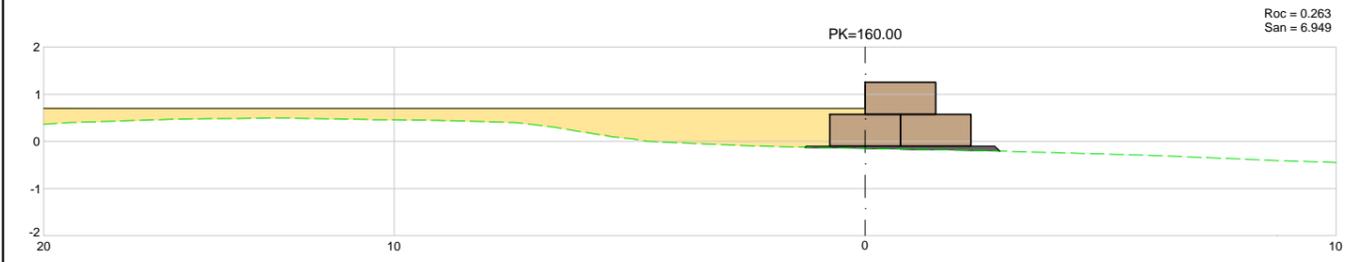
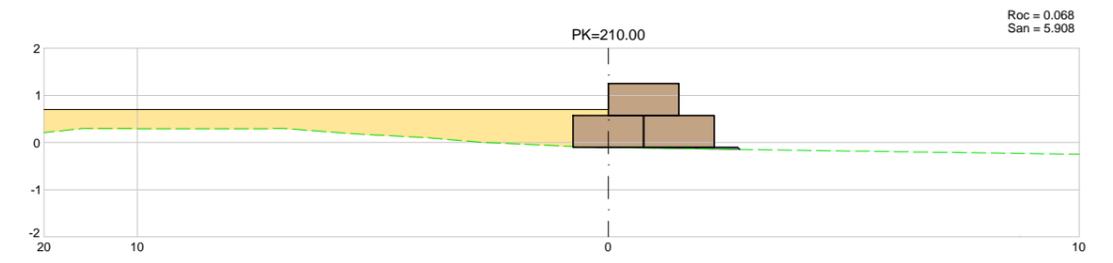
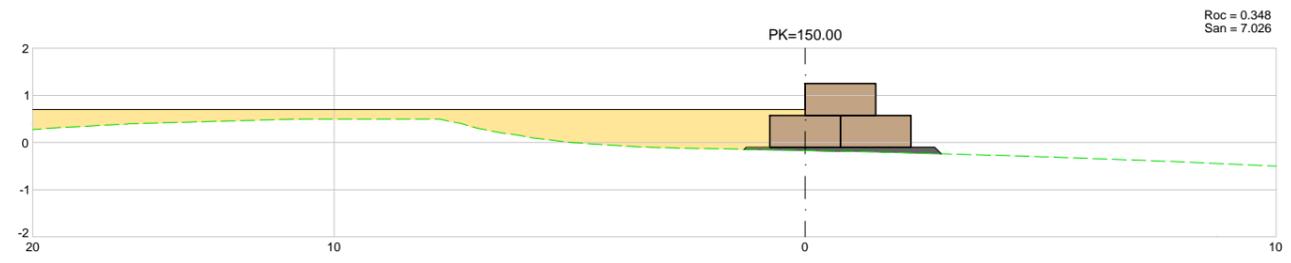
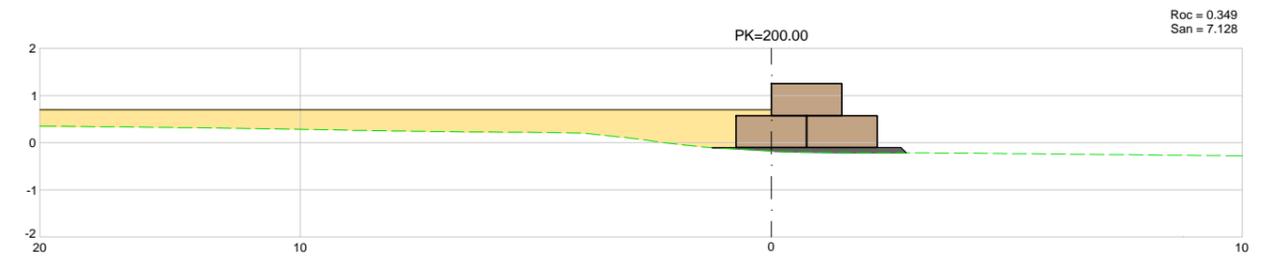
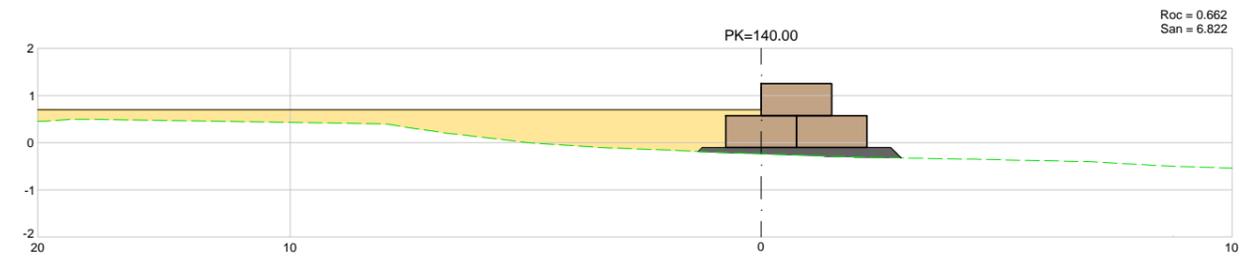
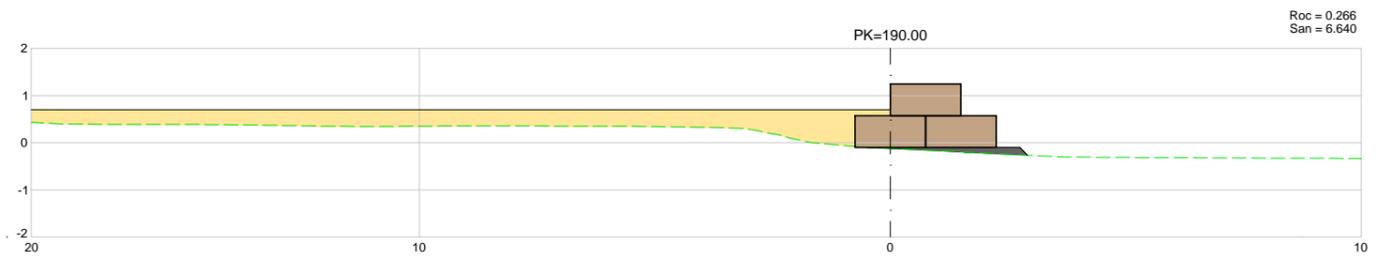
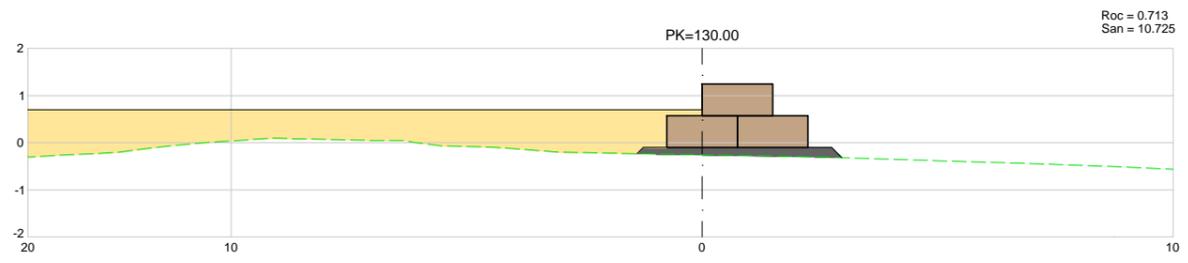
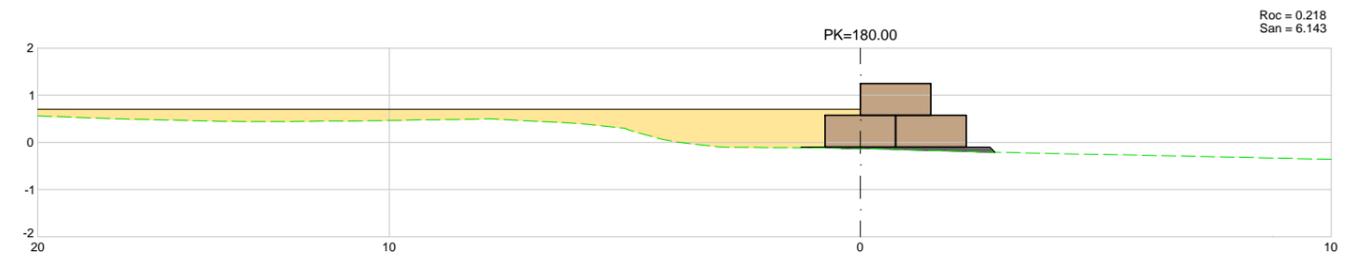
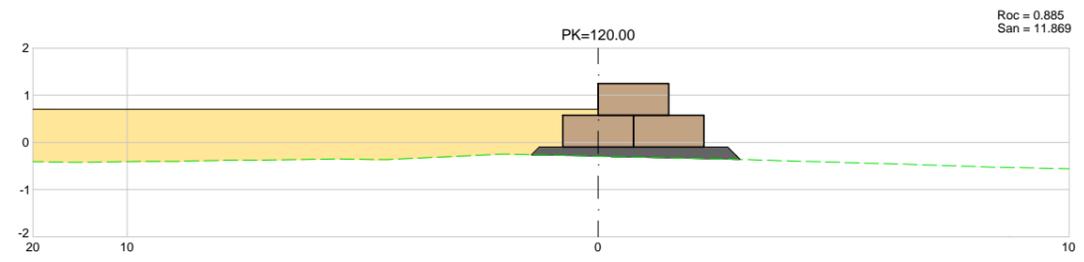




NOTE / NOTA:
THE LOCATION OF MANGLES ARE APPROXIMATE
LA LOCALIZACIÓN DE LOS MANGLES SON APROXIMADAS



LEGEND / LEYENDA	
	Roc SURFACE ROCK / SUPERFICIE ROCA (m ²)
	San SURFACE SAND FILL / SUPERFICIE RELLENO DE ARENA (m ²)
	Gab GABIION / GAVIÓN



LEGEND / LEYENDA	
	Roc SURFACE ROCK / SUPERFICIE ROCA (m ²)
	San SURFACE SAND FILL / SUPERFICIE RELLENO DE ARENA (m ²)
	Gab GABION / GAVIÓN



ANEXO II-CÁLCULOS



ANEXO II-CÁLCULOS. SOLUCIÓN EN TALUD

Hs,b (m)							
Profundidad		Periodo		L0	GODA	Mc COWAN	
Bajamar	Nivel máx	Tp	Tm				
17	17.4	10	5	156.131	10.849	13.572	
16.5	16.9	10	5	156.131	10.610	13.182	
16	16.4	10	5	156.131	10.368	12.792	
15.5	15.9	10	5	156.131	10.122	12.402	
15	15.4	10	5	156.131	9.872	12.012	
14.5	14.9	10	5	156.131	9.618	11.622	
14	14.4	10	5	156.131	9.361	11.232	
13.5	13.9	10	5	156.131	9.099	10.842	
13	13.4	10	5	156.131	8.834	10.452	
12.5	12.9	10	5	156.131	8.564	10.062	
12	12.4	10	5	156.131	8.291	9.672	
11.5	11.9	10	5	156.131	8.013	9.282	
11	11.4	10	5	156.131	7.731	8.892	
10.5	10.9	10	5	156.131	7.445	8.502	
10	10.4	10	5	156.131	7.154	8.112	
9.5	9.9	10	5	156.131	6.859	7.722	
9	9.4	10	5	156.131	6.560	7.332	
8.5	8.9	10	5	156.131	6.256	6.942	
8	8.4	10	5	156.131	5.947	6.552	
7.5	7.9	10	5	156.131	5.634	6.162	
7	7.4	10	5	156.131	5.316	5.772	
6.5	6.9	10	5	156.131	4.993	5.382	
6	6.4	10	5	156.131	4.665	4.992	
5.5	5.9	10	5	156.131	4.332	4.602	
5	5.4	10	5	156.131	3.994	4.212	
4.5	4.9	10	5	156.131	3.651	3.822	
4	4.4	10	5	156.131	3.303	3.432	
3.5	3.9	10	5	156.131	2.949	3.042	
3	3.4	10	5	156.131	2.590	2.652	
2.5	2.9	10	5	156.131	2.226	2.262	
2	2.4	10	5	156.131	1.856	1.872	
1.5	1.9	10	5	156.131	1.480	1.482	
1	1.4	10	5	156.131	1.099	1.092	
0.7	1.1	10	5	156.131	0.867	0.858	
0.6	1	10	5	156.131	0.790	0.780	
0.5	0.9	10	5	156.131	0.712	0.702	
0.3	0.7	10	5	156.131	0.555	0.546	
0.1	0.5	10	5	156.131	0.398	0.390	



Obra de contención en el Cayo Twin,
Reserva Marina South Water Caye, Belice



KFW

PROFUNDIDAD -0.7 m		
Hs	0.87	m
h	1.1	m
tany (playa)	0.03	
Htr	0.58	
Hrms	0.72	
Htr/Hrms	0.80	
H2%/Hrms	1.58	
H2%	1.14	m
Cotg α	2.5	-
P	0.6	-
ζ m-1.0	2.683	-
ζ crit	3.485	-
Cpl	8.400	
Cs	1.300	
S	3	-
Tp	10.0	s
Tm-1,0	5.0	s
γ_w	1.025	t/m3
γ	2.65	t/m3
A	1.585	-
N° horas temporal	5.0	horas
N = N° de olas	3600.0	ud
Dn	0.28	m
W (kg)	58.29	Kg
W(t)	0.06	t

PROFUNDIDAD -0.6 m		
Hs	0.79	m
h	1	m
tany (playa)	0.03	
Htr	0.52	
Hrms	0.66	
Htr/Hrms	0.80	
H2%/Hrms	1.58	
H2%	1.04	m
Cotg α	2.5	-
P	0.6	-
ζ m-1.0	2.812	-
ζ crit	3.485	-
Cpl	8.400	
Cs	1.300	
S	3	-
Tp	10.0	s
Tm-1,0	5.0	s
γ_w	1.025	t/m3
γ	2.65	t/m3
A	1.585	-
N° horas temporal	5.0	horas
N = N° de olas	3600.0	ud
Dn	0.26	m
W (kg)	47.23	Kg
W(t)	0.05	t

PROFUNDIDAD -0.5 m		
Hs	0.71	m
h	0.9	m
tany (playa)	0.03	
Htr	0.47	
Hrms	0.59	
Htr/Hrms	0.80	
H2%/Hrms	1.58	
H2%	0.94	m
Cotg α	2.5	-
P	0.4	-
ζ m-1.0	2.962	-
ζ crit	3.485	-
Cpl	8.400	
Cs	1.300	
S	3	-
Tp	10.0	s
Tm-1,0	5.0	s
γ_w	1.025	t/m3
γ	2.65	t/m3
A	1.585	-
N° horas tempora	5.0	horas
N = N° de olas	3600.0	ud
Dn	0.26	m
W (kg)	46.56	Kg
W(t)	0.05	t

PROFUNDIDAD -0.3 m		
Hs	0.56	m
h	0.7	m
tany (playa)	0.03	
Htr	0.37	
Hrms	0.46	
Htr/Hrms	0.79	
H2%/Hrms	1.58	
H2%	0.73	m
Cotg α	2.5	-
P	0.4	-
ζ m-1.0	3.354	-
ζ crit	3.485	-
Cpl	8.400	
Cs	1.300	
S	3	-
Tp	10.0	s
Tm-1,0	5.0	s
γ_w	1.025	t/m3
γ	2.65	t/m3
A	1.585	-
N° horas temporal	5.0	horas
N = N° de olas	3600.0	ud
Dn	0.22	m
W (kg)	26.66	Kg
W(t)	0.03	t

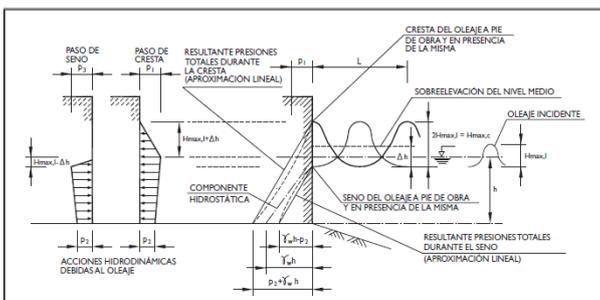
PROFUNDIDAD -0.1 m		
Hs	0.40	m
h	0.56	m
tany (playa)	0.03	
Htr	0.29	
Hrms	0.33	
Htr/Hrms	0.89	
H2%/Hrms	1.52	
H2%	0.49	m
Cotg α	2.5	-
P	0.4	-
ζ m-1.0	3.961	-
ζ crit	3.485	-
Cpl	8.400	
Cs	1.300	
S	3	-
Tp	10.0	s
Tm-1,0	5.0	s
γ_w	1.025	t/m3
γ	2.65	t/m3
A	1.585	-
N° horas temporal	5.0	horas
N = N° de olas	3600.0	ud
Dn	0.16	m
W (kg)	10.62	Kg
W(t)	0.01	t



ANEXO II-CÁLCULOS. SOLUCIÓN DE GAVIONES

DATOS DE ENTRADA	
$H_{1/3}$	0.79 m
T	10.00 s
HD	0.88 m
h	1.00 m
L=Longitud de onda	31.0785 m
γ_w	1.03 t/m ³
Ancho de solera del cajón	1.60 m

FORMULARIO	
$\delta_0 = \frac{\pi \cdot H^2 D}{L} \coth \frac{2\pi h}{L}$	
$p_1 = (p_2 + \gamma h) \frac{H + \delta_0}{h + H + \delta_0}$	
$p_2 = \frac{\gamma_w H D}{\cosh(2\pi h/L)}$	$E_1 = \frac{1}{2} (H - \delta_0) P_3$
$p_3 = \gamma_w (H - \delta_0)$	$E_2 = P_2 (h - (H_D - \delta_0))$
	$E_3 = \frac{1}{2} (P_3 - P_2) (h - (H_D - \delta_0))$



DATOS DE SALIDA	
d_0	0.393 m
Presiones	
p_2	0.8884 t/m ²
p_1	t/m ²
p_3	0.5022 t/m ²
$s=p_2$	0.8884 t/m ²
Distancias	
$HD-d_0$	0.488 m
$h-(HD-d_0)$	0.512 m
Empujes	
E_1	0.12 t
E_2	0.46 t
E_3	0.10 t
E_t	0.85 t
S	0.8884 t
Nota: Las acciones desfavorables han sido amplificadas por un factor 1.25 de acuerdo con la ROM 2 0-11	
Distancia al punto de vuelco	
Y_1	0.67 m
Y_2	0.26 m
Y_3	0.34 m
Y_s	0.53 m
Momentos al punto de vuelco	
M_{E1}	0.08 tm
M_{E2}	0.12 tm
M_{E3}	0.03 tm
$M_{V, EMPUJE}$	0.23 tm
M_s	0.47 tm

	Componen te vertical V (t/m)	Brazo x (m)	Momento Estabilizad or Mx (mt/m)	Componen te horizontal H (t/m)	Brazo y (m)	Momento volcador My (tm/m)
Empuje hacia mar	0.00	0.00	0.00	0.85	0.28	0.23
Subpresión dinámica descendente	0.89	0.53	0.47	0.00	0.00	0.00



**Obra de contención en el Cayo Twin,
Reserva Marina South Water Caye, Belice
Fuerzas del terreno**



EMPUJES DEL TERRENO

Datos	Densidad arenas sumergidas	psum	1.00	T/m3	
	Densidad arenas	psec	2.00	T/m3	
	Ángulo de rozamiento interno arenas	Φ	30.00	°	
	Ángulo de rozamiento bloques-hormigón	δ	20.00	°	
	Ángulo pared del espaldón con la vertical	α	0.00	°	
	Ángulo de la berna con la horizontal	ϵ	0.00	°	
	Coeficiente de empuje activo	K_a	0.30	-	
		horizontal	K_{ah}	0.26	-
		Vertical	K_{av}	0.15	-
	Esfuerzos	Espesor arenas secas	e1	0.30	m
		Espesor arenas humedas	e2	0.75	m
		Capa arenas secas	P1	0.15	T/m2
			E1	0.02	T/m
			Yg	0.85	m
			M1	0.02	mT/m
			P2	0.08	T/m2
		Capa Arenas humedas	P3	0.35	T/m2
			E2	0.06	T/m
Yg			0.38	m	
M2			0.02	mT/m	
E3			0.10	T/m	
Yg			0.25	m	
M3			0.03	mT/m	



**Obra de contención en el Cayo Twin,
Reserva Marina South Water Caye, Belice**
Calculo de los coeficientes de estabilidad



Datos de Partida				
Hs	0.79	m		
Tp	10.00	s		
γ_w	1.03	t/m3		
γ	2.65	t/m3		
A	1.57	-		
Porosidad	0.6			
GAVIÓN ALT 3				
TIPO 4				
Alto	1.5	m		
Ancho	1.6	m		
Longitud	2	m		
Volumen	4.8	m3		
W	7.632	t		
W por ml	3.816	t/ml		
FUERZAS				
	H (t/ml)	V (t/ml)	MH (t/m2/ml)	MV (t/m2/ml)
Oleaje Seno +subpresión dinámica	0.85	0.89	0.23	0.47
Subpresión	x	1.236	x	0.9888
Empuje de tierras	0.18	x	0.07	x
Peso Propio	x	3.816	x	3.0528

Empujes 1+2A+3				
CÁLCULO DE ESTABILIDAD	DESIZAMIENTO	Mínimo coeficiente	1.50	
		Deslizamiento	2.02	CUMPLE
	VUELCO	Mínimo coeficiente	1.50	
		Vuelco	8.46	CUMPLE

GAVIÓN ALT 2				
TIPO 2				
Alto	0.8	m		
Ancho	1.5	m		
Longitud	1	m		
Volumen	1.2	m3		
Unidades	3			
W	5.724	t		
W por ml	5.724	t/ml		
Ancho en la base	3	m		
FUERZAS				
	H (t/ml)	V (t/ml)	MH (t/m2/ml)	MV (t/m2/ml)
Oleaje Seno	0.85	0.89	0.23	0.47
Subpresión	x	2.3175	x	3.47625
Empuje de tierras	0.00	x	0.00	x
Peso tierras		0.2		0.24
Peso Propio	x	5.724	x	8.586

Empujes 1+2A+3				
CÁLCULO DE ESTABILIDAD	DESIZAMIENTO	Mínimo coeficiente	1.50	
		Deslizamiento	2.25	CUMPLE
	VUELCO	Mínimo coeficiente	1.50	
		Vuelco	20.92	CUMPLE