

Diseño y presupuesto, estructura soportante de grúa que ayudará a la recuperación del remolcador de altamar “Poderoso”.

V. Bonilla Ortiz¹, G. Bustamante Laissle², R. Ponce Abarca³

RESUMEN:

El proyecto que aquí se presenta, comienza con la historia del remolcador de altamar Ram Poderoso, el cual se encuentra varado en la costa de Talcahuano desde el 27 de febrero del 2010. Este barco fue declarado monumento histórico en 1990, dada su gran y destacada labor como remolcador en el puerto de Valparaíso. Cuando llegó a Talcahuano en 1994, se creó la Corporación Monumento al Trabajo Marítimo Ram Poderoso, la cual se ha encargado de preservar el patrimonio marítimo de dicho remolcador. Ellos se encargaron de transformarlo en un museo y biblioteca flotante en la costa de Talcahuano. Finalmente todo acabó con lo sucedido la noche del 27F donde el tsunami terminó por volcarlo y dejarlo varado a un costado del puerto de Talcahuano. Es ese, el hecho que da origen a este proyecto, que va en pro del rescate del remolcador. Se hicieron varios análisis anteriores para llegar a la mejor solución y lograr poner en pie al Ram. El objetivo de este proyecto es rescatar al Ram en una sola pieza dentro de una estructura metálica que protegerá al barco de cualquier daño al momento de la maniobra; La grúa que estará a cargo del izaje tiene grandes dimensiones, por lo que es necesario realizar un mejoramiento del terreno en el lugar donde se ubicará para poder levantar al Ram; Ese mejoramiento concluyó en un terraplén de 3 m de altura, el cual deberá ser contenido por un muro pantalla de tablestaca metálica, para evitar cualquier desmoronamiento de material debido al peso de la grúa. y por último, se realizó un presupuesto que engloba toda la maniobra, desde el movimiento de tierras que debe realizarse para la construcción del terraplén, hasta el valor del traslado de la grúa, la cuál viene desde la ciudad de Antofagasta a realizar la importante labor de volver a la vida al Remolcador monumento histórico Ram Poderoso.

ABSTRACT:

The project presented here begins with the story of the high seas tug Ram Poderoso, which is located on the coast of Talcahuano since February 27, 2010. This ship was declared a historical monument in 1990, and its great and outstanding work as a tugboat in the port of Valparaíso. When it arrived in Talcahuano in 1994, the Ram Poderoso Maritime Labor Monument Corporation was created, which is in charge of preserving the maritime heritage of said tugboat. They were in charge of transforming it into a museum and the floating library on the coast of Talcahuano. Finally everything ended with what happened on the night of 27F where the tsunami ended up dumping it and leaving it by the side of the port of Talcahuano. It is, the fact that the origin was this project, which is in favor of the rescue of the tugboat. Several previous analyzes were made to arrive at the best solution and to get the Ram up. The objective of this project is to rescue the Ram in a single piece inside a metallic structure that will protect the boat from any damage at the moment of the maneuver; The crane that will be in charge of the system has large dimensions, so it is necessary to make an improvement of the land in the place where it will be located in order to raise the Ram; This improvement ended in a 3 m high embankment, which must be by a metal plank wall, for the dismantling of material by the weight of the crane. and finally, a budget was made that includes the entire maneuver, from the movement of land that must be taken into account for the construction of the land, to the value of the transfer of the crane, which comes from the city of Antofagasta to carry out the important work of bringing back to life the Ram Poderoso historical monument Tugboat.

¹ Estudiante, Carrera de Ingeniería Civil, Universidad Católica de la Santísima Concepción, CHILE, vebonilla@ing.ucsc.cl

² Profesor Asistente, Departamento de Ingeniería Civil, Universidad Católica de la Santísima Concepción, CHILE, Gbustamante@ucsc.cl.

³ Profesor informante, Departamento de Ingeniería Civil, Universidad Católica de la Santísima Concepción, CHILE, Rponce@ucsc.cl.

1. INTRODUCCIÓN

El Ram Poderoso es un remolcador construido en 1911 en los astilleros H & C Grayson Shipbuilders & Engineers Ltd. en Liverpool, Inglaterra. Llegó a Chile el mismo año para prestar sus servicios como remolcador en el puerto de Valparaíso, hasta que en 1988 fue dado de baja, unos años más tarde en 1990 fue declarado Monumento histórico. En Valparaíso se hicieron varios intentos de convertirlo en museo flotante, los cuales nunca dieron resultado por lo que en 1994 es enviado a Talcahuano donde se crea la “Corporación monumento al trabajo marítimo RAM Poderoso”, (En la Figura 1 se puede ver el remolcador el día que fue despedido de las costas de Valparaíso para zarpar a Talcahuano en 1994.) . Ellos se han dedicado a preservar el patrimonio de la historia marítima del remolcador, convirtiéndolo en museo y biblioteca flotante en la costa de dicha ciudad. La madrugada del 27F cambió el rumbo de la historia de este tan querido Remolcador, pues el Tsunami acabo por encallarlo y volcarlo de costado en la bahía, donde aun permanece.



Figura 1: En la fotografía se puede apreciar lo que fue el Remolcador de altamar RAM Poderoso.

En los innumerables intentos por rescatarlo y convertirlo nuevamente en lo que fue, es donde nace la necesidad de levantar al remolcador de su posición y recuperarlo en una sola pieza, es por ello que se diseñó una estructura metálica para protegerlo al momento de la extracción (tesis Diego Vargas). En el análisis para diseñar dicha estructura metálica se estimó que el peso propio de la embarcación es de aproximadamente 320 T, sin considerar el peso que tendrá la protección de perfiles metálicos de la cual será levantado el RAM, está tiene un peso de 32T, con esta información, se lleva a cabo la elección de la grúa que debe ser capaz de levantar como mínimo 370 T. En Chile existen muy pocas grúas capaces de levantar esa cantidad de tonelaje, por lo que la búsqueda y elección de está fue compleja.

Debido a la importancia, el costo y las grandes dimensiones que tiene la grúa escogida, vienen la problemática de ajustar un espacio de trabajo cómodo y seguro para esta gran maquinaria. Es justamente este punto el que da origen a esta tesis, en la cual se busca diseñar o mejorar un lugar para el óptimo desempeño de la grúa escogida.

Se barajan dos alternativas, un muelle de servicio y un relleno provisorio, el primero se encuentra dentro de las obras auxiliares mas usadas para la construcciones en la costa. Este tipo de obras son primordiales en el apoyo y buen desarrollo de la obra real, ya que sin ellas sería imposible realizar el acercamiento del material, las maquinarias e incluso la mano de obra. Por otro lado, está el relleno provisorio que se destaca por su economía frente a un muelle de servicio, este relleno consiste en una mejora del suelo existente para que sea capaz de soportar la carga de la grúa que estará operando en el lugar, y para evitar cualquier falla o inconveniente en el relleno utilizado, es necesario realizar el diseño de un elemento de contención, ya que además hay que subir el nivel del terreno. Los elementos de contención analizados son un enrocado y una tablestaca. A partir de ellos se realizará un análisis de carga para ver cual soporta mejor el peso de la grúa. Finalmente se realiza un presupuesto y se muestra un enfoque constructivo de dichas obra.

1. ANTECEDENTES GENERALES.

1.1. Topografía.

El sector donde se encuentra varado el RAM Poderoso es un terreno aledaño al puerto de Talcahuano (Anexo E), el cual está bastante descuidado por el no uso, y tiene gran cantidad de escombros. La topografía del lugar fue realizada por Felipe González y Diego Vargas , para ser utilizada en la tesis de este último, “Modelamiento y presupuesto para la recuperación del remolcador de altamar Poderoso.”

En la Figura 2 se puede ver a escala la topografía del sector. En ella, a simple vista, se nota que existen varios lugares con cambios de pendiente bruscos, por lo que en el sector se debe realizar un movimiento de tierra, que tenga como objetivo dejar todo el terreno a un mismo nivel. Los perfiles del terreno que se utilizaron para calcular la cantidad de corte y relleno, al igual que los volúmenes de material a utilizar para las capas del terraplén se encuentran de manera digital en el archivo de AutoCad adjunto.

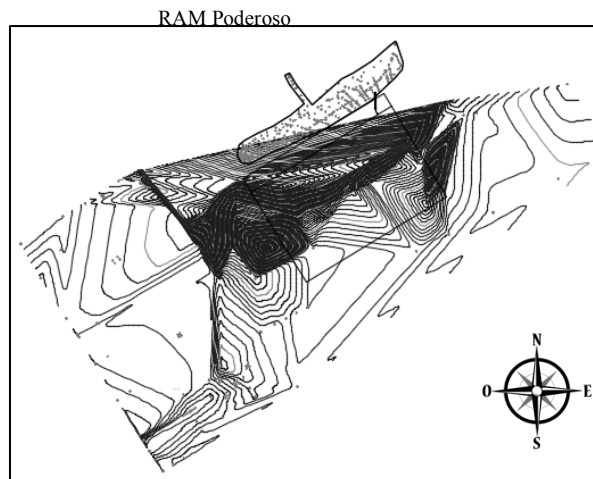


Figura 2: Topografía a escala del lugar donde se encuentra varado el RAM.

Fuente: Topografía realizada por Felipe González y Diego Vargas.

1.2. Mecánica de suelos:

El informe de mecánica de suelos fue realizado por GEOFUN, a petición de la empresa Calbuco Ingenieros Ltda. para el Proyecto Rehabilitación del Puerto Comercial de Talcahuano el año 2012.

Es importante mencionar que este informe de mecánica de suelos se utilizará como la hipótesis inicial de este proyecto, ya que éste fue realizado a 200 m de distancia, del lugar mismo donde se encuentra varado el RAM, por ende de ser ejecutado el proyecto, se debe realizar una nueva mecánica de suelos donde se realizarán las labores de rescate del RAM. Dicha mecánica de suelos no fue realizada, dado que no estaba dentro de los alcances de la presente tesis. Por todo lo mencionado anteriormente, los factores de seguridad serán sobre estimados y algunos valores solo serán estimativos para efectos de cálculo.

En dicho estudio se realizaron 3 sondajes a 30 m de profundidad y se excavaron alrededor de 15 pozos de 1,5-2 m de profundidad. En los sondajes, se registraron los índices de penetración estándar cada 1,0 m en suelo natural. Estos estudios, recopilaron los antecedentes para estimar una estratigrafía mostrada en la tabla 1 para conocer el tipo de suelo con el que es posible para realizar los cálculos del diseño del terraplén y el tablestacado.

Tabla 1. Estratigrafía Terrano Natural.

(Fuente: Informe mecánica de suelos Proyecto: Rehabilitación Puerto de Talcahuano. GEOFUN (2012))

Estratigrafía Terreno Natural						
Estrato	Profundidad	Descripción	\emptyset	c	γ_{sat} (T/m ³)	γ' (T/m ³)
H1	0-20.0	Relleno artificial de grava arenosa de color café claro a gris. Gravas y bolones de cantos angulosos a subangulosos, tamaño máximo 5"	33	0	2	1,1
H2	20.0-26.0	Arena fina a gruesa, algo limosa con presencia de conchuela, color gris, compacidad alta a muy alta. Presencia de gravas aisladas de cantos redondeados a subredondeados y subangulares.	33	0,5	1,7	0,9
H3	26.0-30.0	Arena fina a gruesa con presencia de conchuelas color gris, compacidad alta a muy alta. Presencia de gravas aisladas de cantos redondeados a subredondeados y subangulares.	35	1	1,85	0,9

1.2.1. Antecedentes geológicos y geotécnicos generales.

A continuación se hará un pequeño resumen de los antecedentes geológicos generales que tienen directa relación con el sector en estudio. Estos datos han sido recabados del informe de mecánica de suelos realizado por Calbuco ingenieros ltda.

Entre Concepción y el mar existe una llanura arenosa en cuya costa se pueden encontrar 3 unidades geológicas principales.

- Rocas Metamórficas y suelos derivados, éstas se encuentran en el cordón de cerros que forman la península de tumbes. Aquí se puede observar que la roca sana se encuentra a una profundidad de 3 a 4 m. bajo la superficie del terreno.
- Roca Granítica y suelos derivados, en general este tipo de rocas graníticas intrusivas afloran en toda la región y en particular al Este de Concepción, donde constituyen las rocas fundamentales del cordón del cerro caracol y de toda la serranía que limita el valle del Biobío por el Este, hasta Hualquí.

En la zona de interés para este estudio, las rocas graníticas ocupan una extensión muy reducida, ubicada al poniente de las rocas metamórficas.

- Suelos Cuaternarios, este tipo de suelo se presenta en una llanura arenosa, caracterizada por sedimentaciones marinas y fluviales que están limitadas por el río Biobío, los cerros graníticos que rodean Concepción y la línea de playa.

Para concluir los antecedentes mencionados y hacer una breve inferencia del suelo con que se puede encontrar a cierta profundidad, se considerará la posibilidad de que exista un suelo fangoso arenoso posado sobre la roca cretácica-terciaria y además de que estas se deben encontrar bastante erosionadas y reducidas a pequeños cerros bajos y redondeados. Debido a la erosión y reducción de este material con los años es probable encontrar un material de arena fina y arcillosa. Además se debe tener en cuenta que el sector, es un terreno que ha sido ganado al mar, por lo que deben existir depósitos de conchuela suelta de muy mala resistencia.

Otro punto importante es que en la bahía de Talcahuano no desemboca ningún río de gran torrente que sea capaz de arrastrar los sedimentos de la descomposición rocosa, lo que aumenta la probabilidad de encontrar gran cantidad de finos. Aún así, la sobrecarga del suelo podría tener horizonte duro proveniente de la descomposición de roca terciaria, pero no debería tener mucho espesor dado que también es posible que está roca no haya resistido la abrasión producida por las corrientes marinas del lugar.

En la figura 4, se muestra un mapa geológico de la zona, en el cual se puede ver el lugar exacto donde se encuentra varado el RAM en Talcahuano. También se aprecia que la zona amarilla predomina en todo el sector, lo que incluye la lugar donde se hizo la mecánica de suelos de GEOFUN y donde se realizarán las obras de rescate del barco. Esta información respalda la utilización de los datos de la MDS realizada a 200m del sector, ya que todo corresponde a depósitos litorales, arenas y gravas de playas actuales.



Figura 4. Mapa geológico Octava región. (Fuente: SERNAGEOMIN.)

1.3. Elección de la grúa.

En las tesis antes realizadas para éste proyecto, se analizaron soluciones diferentes para el rescate del barco. En el trabajo [13] Vargas Herrera D. I. (2016) “Modelamiento y presupuesto, para la recuperación del remolcador de altamar Pderoso.” se evalúan dos alternativas, rescatar el barco en una pieza o particionado. Como la idea es no particionar el remolcador de ninguna manera, en este documento sólo se analizará la alternativa de rescatar al RAM completo. En la tesis [13] se realizó el presupuesto de la maquinaria que se utilizaría en el proyecto, y se propuso el uso de 3 grúas Manitowc 4100 (160T) lo cual fue evaluado con varios proveedores de arriendo de maquinaria pesada y sus opiniones coincidían al mencionar que en la práctica ésta maniobra es muy complicada de realizar en simulatáneo, ya que el proveedor no asegura la integridad del barco y más aun si el objetivo principal es no deteriorar dicho remolcador. Por lo que ésta idea fue sustituida por la búsqueda de una sola grúa idónea para esta moniobra, finalmente se muestra en la tabla 2 el detalle del peso del RAM.

Tabla 2: Detalle peso del Remolcador RAM Poderoso.

(Fuente: [12] Vargas Herrera D. I. (2016) “Modelamiento y presupuesto, para la recuperación del remolcador de altamar Pderoso.”)

Peso Ram Poderoso	
Peso Propio (T)	320
Peso Estructura Metálica (T)	32
FS	1,2
Peso Total (T)	422,4

En la Tabla 2 se muestra el desglose del peso que tendrá que levantar la grúa escogida. Para ello como criterio de seguridad se agrega un 20% de peso adicional, para asegurar que no exista inconveniente al momento del izaje. Por lo tanto, la grúa debe ser capaz de levantar aproximadamente 423 T.

Dado que es un tonelaje considerable, las alternativas disminuyen bastante, ya que después de realizar varias cotizaciones y consultar a proveedores expertos en grúas, se concluyó que en el mercado nacional existe poca variedad de este tipo de maquinaria. En la Tabla 3 se pueden ver las grúas que fueron analizadas para su posible uso.

Tabla 3: Alternativa de grúas disponibles en Chile.

(Fuente: Elaboración propia)

Alternativas de Grúas			
Tipos	Proveedor	Capacidad (T)	Peso(T)
Manitowoc 4100	Trixa Chile	160	170
LTM 1500-8,1	Trixa Chile	500	602
Manitowoc 18000	Trixa Chile	600	970

Como primera alternativa está Manitowoc 4100, la cual fue descartada por lo complejo que es maniobrar tres grúas al mismo tiempo como se mencionó anteriormente. La sigue una LTM 1500-8,1. Está grúa si bien tiene un tonelaje que alcanza para nuestro objetivo, el margen es bastante bajo ya que al aumentar el brazo de trabajo estás 500 T se convierten rápidamente en menos de 400. Además de que los precios son bastante elevados, por el hecho de que este tipo de grúas son utilizadas en minería al norte del país y no siempre están disponibles para su arriendo. Finalmente se tiene una Manitowoc 18000, una grúas de grandes dimensiones y muy costosa, pero su gran capacidad de 600T nos asegura un levantamiento exitoso para el remolcador ya que el margen de toneladas es un poco más amplio y es más factible aumentar su brazo de trabajo de manera cómoda y que siga alcanzando el tonelaje requerido, por lo tanto, es la escogida para el proyecto.

Está grúa requiere de al menos 48 camiones para su traslado, y su armazón demora alrededor de 10 días. El arriendo es mensual e incluye un operador y un equipo de especialistas para su armado. Cabe mencionar que luego de ser levantado, el RAM debe ser puesto sobre un camión que lo lleve a su destino final.

2. ALTERNATIVAS DE SOLUCIÓN.

2.1. Relleno o mejoramiento del terreno:

Una vez escogida la grúa, se debe verificar las condiciones del lugar donde será puesta. Se sabe que el mejoramiento de terreno tiene como objetivo principal, que el suelo adquiera una mayor capacidad de carga y la reducción de asentamientos. Para lograr este objetivo, es importante que la granulometría y materiales, así como la colocación, espesor y grado de compactación, sean escogidos y aplicados de la manera idónea a la solicitaciones.

Una de las ventajas del relleno, es que su proceso constructivo es más rápido que alguna estructura tipo plataforma, además puede resultar más económico.

El terraplén que debe construirse tendrá un área de 800 m² y una altura de 3m.

Se deberán remover aproximadamente 1.121 m³ de terreno no apto estructuralmente. Luego el relleno provisorio tipo terraplén, estará compuesto por 3 capas para mejorar la resistencia del suelo. En la base se colocarán 523 m³ de material chancado, seguido de 882 m³ de relleno compactado, para finalizar con 377 m³ de base estabilizada.

Como obra anexa al relleno, se debe disponer de un sistema de contención que asegure el confinamiento del terraplén.

2.1.1. Enrocado:

Los enrocados son estructuras de defensa marina, ya sea para proteger la costa de la erosión por el oleaje o para contener un talud al borde de una obra fluvial o costera, en este caso será utilizado como sistema de contención para el relleno.

- A continuación las principales ventajas de un enrocado.

- Elementos versátiles que permiten la construcción de estructuras flexibles que se adaptan mejor a los asentamientos.
- Fáciles de construir, pues no requieren de equipos especializados o de sistemas constructivos especiales para su colocación.
- Tienen una apariencia más natural y son amigables con el medio ambiente (muy favorable para esta obra provisorio.)
- No es necesario retirarlo, pues sería un aporte para el lugar.

- Las desventajas que puede presentar el enrocado en este proyecto pueden ser:

- El espacio de trabajo es reducido, y la construcción de un enrocado por su pendiente, requiere de unos metros más de terreno.
- Su resistencia a la contención del terreno no se puede estimar con precisión, por lo que son mucho más inseguros y menos estable. Lo que no es compatible con el proyecto, ya que se requiere algo mas seguro.

2.1.2. Tablestaca:

Las tablestacas al igual que el enrocado, son estructuras de contención que le entregan flexibilidad a los cortes verticales o taludes. Estos elementos no solo son utilizados como contención de terreno en las zonas costeras, sino también en muchas otras obras de ingeniería. Estos diseños están basados casi en su totalidad por normas extranjeras, ya que en Chile no existe una norma oficial. Existen tablestacados de diferentes materiales como hormigón, madera, aluminio, FRP composite, entre otros.

- Las ventajas principales de estos elementos son las que se presentan a continuación:

- Resistencia a la flexión.
- Existen gran variedad de materiales en los cuales pueden ser construidas, incluso pueden ser prefabricadas, como las de hormigón armado.

- El bajo peso que tienen algunos materiales como la madera, el acero o metal.
- Rápido proceso constructivo, bajo costo y posibilidad de desmontar la obra, en caso de complicaciones legales.
 - Las desventajas que puede presentar una contención con tablestacado en el proyecto pueden ser:
- Existe incertidumbre con respecto a la profundidad a la que se encuentra la roca, porque la mecánica de suelos con la que se está trabajando es de un lugar que está a 200m de distancia aproximadamente.
- La marea es bastante baja y tranquila en el lugar, pues esto no favorece a los empujes pasivos que ayudarán a contrarrestar el empuje activo generado por el relleno, por lo que es probable que se deban diseñar anclajes, los cuales aumentarán el costo de la obra.

2.2. Muelle auxiliar:

Un muelle auxiliar es una obra provisoria, que se utiliza para dar apoyo y facilitar la verdadera obra en ejecución. En el caso estudiado este muelle sería de gran utilidad, ya que se puede montar la grúa sobre él y rescatar el Ram sin necesidad de intervenir el terreno que se encuentra a un costado. La ventaja principal de esta estructura provisoria o muelle auxiliar, es que una vez terminada la obra se puede desmontar y dejar el lugar tal y como estaba antes. La estructura de este tipo de construcción es a base de pilotes verticales, sobre los cuales puede montarse una estructura metálica que contenga vigas y arriostamientos.

2.3. Conclusión, elección de alternativa.

Una vez analizadas las alternativas de solución se determina un diseño de terraplén que mejore la resistencia del suelo en el cual se posará la grúa el cual será contenido por un tablestacado metálico, anclado al terreno natural. Ésta es la solución que entrega más seguridad y estabilidad al lugar donde se armará la grúa que pesa más de 900 T.

3. DISEÑO TERRAPLÉN.

Se presenta un resumen de las propiedades mecánicas entregadas en el informe de GEOFUN para el suelo natural (esto para el terreno ya escarpado con un mínimo de 0,4 cm y compactado al 95% DMCS según 8.102.7 MC V8). Es importante mencionar, que se deben extraer todos los escombros del lugar antes de la ejecución del proyecto, y se debe realizar una nueva mecánica de suelos.

En la tabla 4 aparece la caracterización que se utilizó en el proyecto Rehabilitación Puerto de Talcahuano, para el cálculo del tablestacado de esa zona.

Tabla 4. Resumen caracterización suelo natural.

(Fuente: Informe mecánica de suelos Proyecto: Rehabilitación Puerto de Talcahuano. GEOFUN (2012) apartado c.3.1. propiedades mecánicas para explanada. Pag. 474.)

ϕ	30°	Ángulo de fricción interna
γ (T/m ³)	1,9	Peso unitario natural
c (T/m ²)	0	Cohesión

3.1. Especificaciones técnicas del terraplén

En el terreno existente se realizará un escarpado de mínimo 0,4 cm de profundidad y el retiro de escombros en el caso de que exista. Luego se debe excavar para nivelar el terreno natural hasta la cota 1000 de los referido a los planos topográficos, una vez realizada la excavación se debe compactar el terreno natural hasta alcanzar un 95% de la DMCS como mínimo o según el ensayo de mecánica de suelos asociado al proyecto.

Para el terraplén se utilizarán capas compactas de 30 y 50 cm de espesor, las cuales deben alcanzar una DMCS de 95% o 80% D.R. la cual debe ser verificada en terreno.

Las faenas deben programarse para que los trabajos coincidan con marea baja, y así evitar la saturación del suelo cercano al terraplén.

Los materiales y granulometría en base al Manual de Carreteras (2012) Vol. 5 serán detallados a continuación:

3.1.1. Base de material chancado:

El material chancado debe ser de dimensiones $\frac{3}{4}$ " a 3" de preferencia bien graduada y de espesor 30 cm. Apisonado con un rodillo de tambor liso para facilitar el acomodo de las rocas y los asentamientos sean convenientes, este material debe ser de roca triturada traída de una planta chancadora, como exigencia deben tener todas sus caras fracturadas y el peso específico no debe ser menor a $2,0 \text{ ton/m}^3$. La compactación debe tener un CBR mínimo de 60%

3.1.2. Relleno compactado:

Este relleno debe tener como característica principal, ser un material granular para que sea capaz de filtrar el agua de la cual se desconoce a que nivel se encuentra. Es por ello que el porcentaje de finos inferior a la malla N° 200 no debe superar el 4% y debe tener un CBR mínimo de 90%. El tamaño máximo de este material debe ser de 100 mm, es importante mencionar que por ningún motivo el tamaño máximo de partícula debe superar la mitad del espesor de cada capa compactada.

Debe ser un material libre de escombros, basuras, material orgánica, arcillas y cualquier otro elemento que no cumpla con las características del relleno.

Es importante destacar que los últimos 50 cm de relleno desde la superficie hacia abajo, deberá alcanzar una densidad relativa (DR) de 80% como mínimo. Y se debe tomar una prueba de densidad in-situ cada 100 m² de superficie rellenada, en cada capa compactada.

3.1.3. Base estabilizada:

Esta base corresponde a material que es puesto sobre la superficie del relleno compactado. La base estabilizada debe estar constituida por un tipo de suelo gravo arenoso, homogéneo, idealmente sin terrones de arcilla ni material orgánico. Debe tener al menos el 70% de las partículas retenidas en le tamiz N°4 ASTM y con al menos 2 caras fracturadas, debe cumplir con un CBR de 100%

Este material deberá ser compactado con la humedad óptima de compactación hasta obtener una densidad seca no inferior al 95% de la DMCS o un DR de 80% como mínimo.

Finalmente se debe realizar una densidad in-situ mínimo cada 300 m².

En las tablas 5 y 6 se muestra la granulometría en la cual debe estar comprendido el material de la base estabilizada y los requisitos de calidad que debe cumplir respectivamente.

Tabla 5: Alternativa de Granulometría en la cual debe estar comprendida la base estabilizada.

(Fuente: MDC (2012), Vol. 5.)

Tamiz	Porcentaje que pasa en peso		
	A	B	C
2"	100	100	-
1"	-	17 - 95	100
3/8"	30 - 65	40 - 75	50 - 85
N°4	25 - 55	30 - 60	35 - 65
N°10	15 - 40	20 - 45	25 - 50
N°40	8 - 20	15 - 30	15 - 30
N°200	2 - 8	5 - 20	5 - 15

Tabla 6: Requisitos de calidad para la base estabilizada.
 (Fuente: Elaboración propia, en base al MDC (2012), vol. 5)

Ensayo	Norma	Requisito
Límite Líquido	AASHTO-T 89	25% máx
Índice de Plasticidad	AASHTO-T 90	6 % máx
Desgaste de los Angeles	AASHTO-T 96	40% máx
CBR	AASHTO-T 193	40% máx

3.1.4. Uso de un geotextil:

Los geotextiles son un material plano, permeable y polimérico, que se emplea en contacto con el suelo natural, para aplicaciones geotécnicas como:

- Filtración: El geotextil retiene las partículas finas, evitando la migración de finos
- Separación: Separa dos capas de suelo de diferentes propiedades físicas como granulometría, plasticidad, consistencia, etc.
- Drenaje: Conduce y evacua líquidos
- Refuerzo: aumenta la capacidad portante o resistencia al corte del suelo y la estabilidad de la construcción.

Dadas las necesidades del terreno se escoge Geotextil Pavco, NW024 de 19 gr/m², o según el estudio de Mecánica de Suelos asociado al proyecto. El cual aporta con control de erosión, estabilizado y drenaje.

Y cumple con la tabla 5.204.202.A “Geotextiles para estabilización de suelos”, la tabla 5.204.202.C “Geotextil para drenaje” y la tabla 5.204.202.D “Geotextiles para control de erosión”. Todas del Manual de Carreteras V5 actualización 2012. (Tablas juntas Anexo D)

La tela geotextil deberá colocarse sobre la superficie previamente preparada o al menos emparejada, compactada si ello es posible, y libre de elementos punzantes y cortantes. El geotextil debe colocarse evitando las arrugas o pliegues; no se permitirá el tránsito sobre la tela sin protección.

Los traslapes serán a favor del avance de la construcción y se mantendrá unido mediante costurado o traslape, según corresponda.

Antes de ser cargado, el geotextil colocado deberá ser inspeccionado en busca de posibles daños de instalación. En caso que los hubiese, estos deben ser reparados de inmediato, cubriéndolos con un paño de tela que se extienda como mínimo 0,75 m alrededor de toda la zona dañada.

El material de recubrimiento del geotextil no deberá descargarse directamente sobre la tela, sino que deberá acopiarse sobre un material previamente colocado sobre ella, para luego ser distribuido uniformemente mediante equipos y procedimientos adecuados. El espesor de la primera capa será de mínimo 0,30 m, según las condiciones del terreno.

No se permitirá el tránsito de vehículos directamente sobre el geotextil. Tampoco se permitirán el uso de equipo vibratorio para la compactación de la primera capa.

3.2. Diseño geométrico terraplén.

El terraplén es un rectángulo de 25 m. de ancho por 32 m. de largo, con un espesor mínimo de 3m. Dichas dimensiones fueron estimadas para que la grúa de grandes dimensiones, pudiera desplazarse sin dificultad sobre éste, además de facilitar el armado de ésta y el movimiento de maquinarias como retroexcavadoras o camiones.

En el Anexo A se puede ver el modelo del terraplén y la grúa.

4.2.1. Presión de Trabajo

La altura del terraplén será diseñada a partir de dos exigencias, la presión que ejerce la grúa sobre el suelo, dato entregado por el software Ground Bearing Pressure original de Manitowoc, ésta debe alcanzar a disiparse dentro de la profundidad determinada. En segundo lugar está el alcance del brazo de la grúa, lo cual no fue problema dadas las grandes dimensiones de ésta.

En la figura 5 y 6, se muestra el resultado del software GBP una vez ingresados datos.

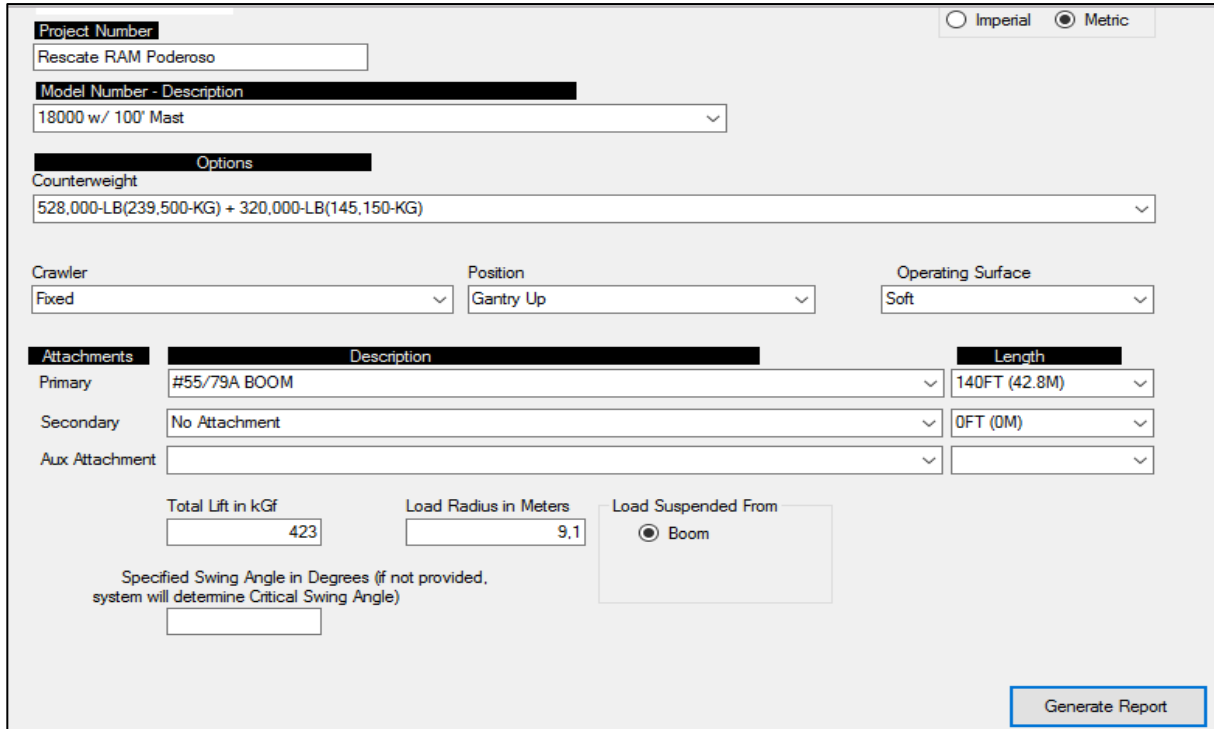


Figura 5. Pantalla de ingreso de datos del software Ground Bearing Pressure.

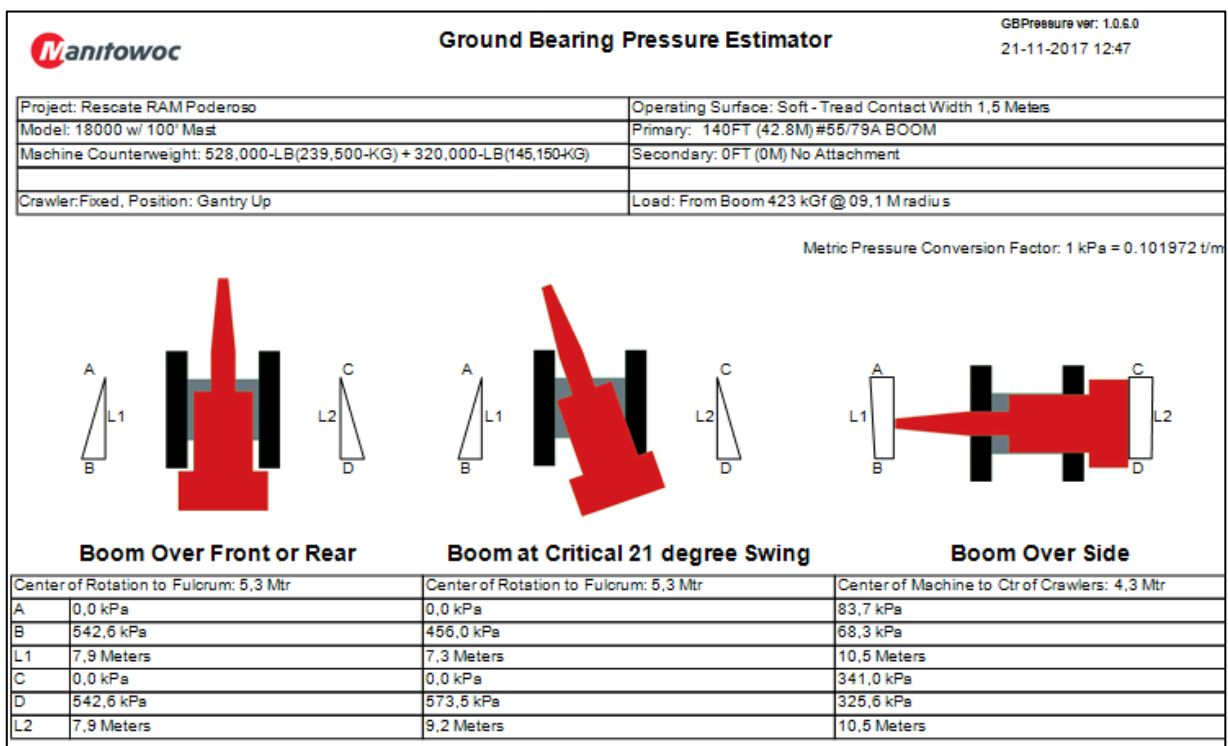


Figura 6. Resultados de la presión que ejerce sobre el suelo la grúa Manitowoc 18000 al momento del izaje. (Fuente: www.manitowoccranes.com descarga del software en demo.)

En la figura 5, en primer lugar se ingresó el modelo de grúa y luego la configuración del contrapeso (el cual está indicado en el manual de Manitowoc 18000) el gráfico con el que se determinó esta configuración se encuentra en el Anexo B.

También es necesario ingresar al programa que tipo de apoyo tiene la grúa, en este caso se especifica que las ruedas son oruga y que el suelo es suave (es decir que no tiene grandes desniveles o no es una superficie áspera) Y finalmente el programa solicita ingresar la cantidad de toneladas que debe levantar y el largo del brazo, éste también se encuentra en el gráfico del Anexo B.

El software entrega los resultados como se muestran en la figura 6, donde se puede observar las 3 posiciones más desfavorables de la grúa y un ángulo crítico de inclinación de 21°.

De estos resultados lo más importante es la presión ejercida en el suelo y la distribución que tendrá esta carga sobre los apoyos oruga de la grúa. En la figura 7, se esquematiza la distribución de la presión ejercida al suelo. Si bien la carga generada es bastante alta, se debe considerar que el programa utiliza la configuración más desfavorable de la grúa y los 5,5 Kg/cm² están actuando en el borde exterior de la grúa como se muestra en la figura 7. Para efectos de cálculos en el diseño de la tablestaca y los anclajes, se considerará deformación plana y la carga triangular de la figura 6 se analizará como una carga rectangular distribuida.

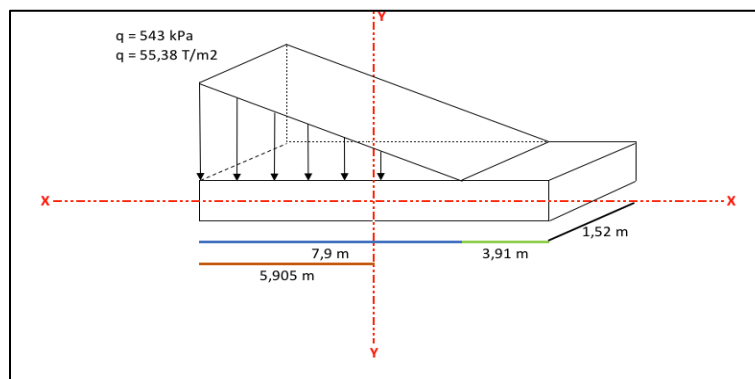


Figura 7. Esquema de presión de los apoyos de la grúa en el suelo.
 (Fuente: Elaboración propia.)

3.3. Verificación capacidad de carga.

Se habla de capacidad de carga, cuando en un suelo está ejerciendo una fuerza en una cierta área y ésta fuerza no es capaz de provocar algún daño o falla. Ésta carga debe estar bajo la influencia de un factor de seguridad. La capacidad de carga de un suelo está en función de su resistencia al corte, el cual a su vez depende del esfuerzo normal que se aplica sobre el suelo y las propiedades del mismo.

Es por esto la importancia de verificar que el suelo natural no falle cuando se construya el terraplén y sobre él se pose la grúa.

Para que el diseño sea adecuado y no se generen fallas, se deben hacer dos verificaciones de tensiones admisibles.

3.3.1. Verificación capacidad de carga terraplén+grúa - terreno natural.

Para realizar ésta verificación, primero se debe conocer cuanto porcentaje de tensión inducida desde la grúa es transmitida al terreno natural en el punto O como muestra la figura 8.

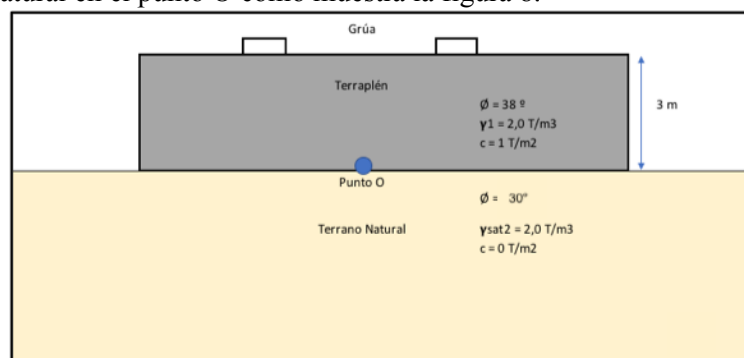


Figura 8. Representación gráfica, situación de tensiones.

Se va a considerar para efectos de cálculo que la tensión que transmite la grúa al terraplén es una carga rectangular distribuida de manera uniforme:

$$q_{sc} = 38,5 \frac{T}{m^2}$$

Ahora con q_{sc} se conocerá mediante el método de Boussinesq (*Braja M. Das (2001), Cap. 5 "Esfuerzos en una masa de suelo", pag. 136.*) el porcentaje de tensión inducida que es disipado hasta el punto O de la figura 8.

Verificamos que la carga que ejerce la grúa al terraplén, no disipe fuera de éste más del 20% .

En la figura 9, se puede ver en planta la rueda oruga de la grúa, la cual será simulada como una fundación superficial.

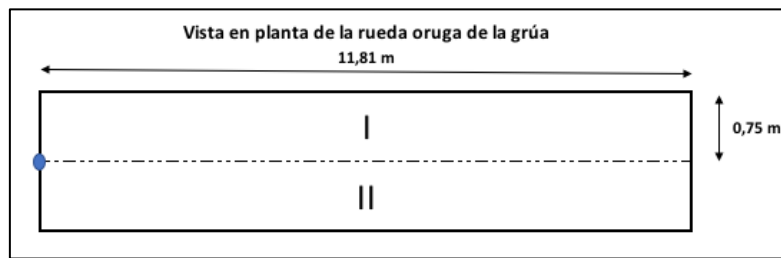


Figura 9. Vista en planta de la rueda de oruga. (*Fuente:* elaboración propia.)

El punto azul de la figura 9 es el lugar donde se requiere encontrar la tensión vertical efectiva a los 3 m de profundidad (altura del terraplén)

Se deben calcular los coeficientes de Boussinesq para obtener el porcentaje de incremento de tensión del gráfico de la figura 10.

$$mI = \frac{a}{z} \quad (4.1)$$

$$nI = \frac{b}{z} \quad (4.2)$$

Con a y b el ancho y largo de cada sección I y II respectivamente.

$$mI = mII = 0,25 \quad nI = nII = 3,93$$

Con los valores de m y n se ingresa al gráficos y se obtiene el incremento I_2 .

$$I_{2(I \text{ y } II)} = 0,075$$

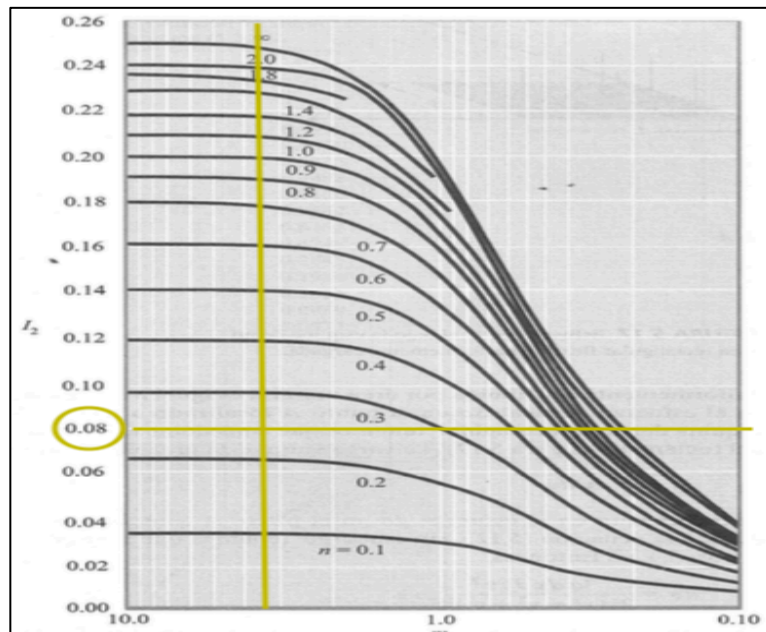


Figura 10. Gráfico de la variación de I_2 con m y n . (Fuente: Figura 5.18, Braja M. Das. (2001).)

El incremento $I_{2(I)}$ y $I_{2(II)}$ se suman, así finalmente

$$I_2(I) + I_2(II) = 0,075 + 0,075 = 0,15$$

Finalmente, la grúa transmite un 15% de tensión inducida a los 3m de profundidad, por lo tanto cumple, ya que dentro del terraplén se alcanza a disipar menos del 20% de las tensiones inducidas por la grúa.

Finalmente q_{sco} en el punto O de la figura 8 es:

$$q_{sco} = 15\% * q_{sc} = 0,15 * 38,5 \frac{T}{m^2}$$

$$q_{sco} = 5,7 \frac{T}{m^2}$$

Ahora mediante el método de Brinch-Hansen (1968) verificamos que el $q_{trab} < q_{adm}$ para confirmar que el suelo no falla por hundimiento una vez puesto el terraplén e instalada la grúa.

En el Anexo C, se pueden ver los cálculos del q_{hun} y el q_{adm} .

La tensión de trabajo se obtiene mediante la expresión (4.3)

$$q_{trab} = \gamma_1 * Ht + q_{sco} \quad (4.3)$$

γ_1 = peso específico del terraplén (T/m^3)

Ht = Altura terraplén (m)

q_{sco} = Carga que transfiere la grúa al suelo. (T/m^2)

$$q_{trab} = 2,0t/m^2 * 3m + 5,7 T/m^2$$

$$q_{trab} = 11,7 T/m^2$$

$$q_{adm} = 29,87 T/m^2 \text{ (Anexo C)}$$

por lo tanto se verifica que el suelo natural resiste la carga que ejerce la grúa y el terraplén.

$$q_{adm} > q_{trab}$$

$$29,87 \frac{T}{m^2} > 11,7 \frac{T}{m^2}$$

3.3.2. Verificación capacidad de carga Grúa – Terraplén

Ahora en este caso, el q_{trab} es directamente la carga que transmite la grúa al suelo, la cual fue calculada en punto 3.3.1. como $q_{sc} = 38,5 \frac{T}{m^2}$

De la misma manera que en el punto 3.3.1. mediante Brinch-Hansen se calcula el q_{adm} . (Anexo C)

$$q_{adm} = 86,88 \frac{T}{m^2}$$

Verificamos que el $q_{trab} < q_{adm}$ para confirmar que el terraplén no falla por hundimiento una vez instalada la grúa.

$$q_{adm} = 86,88 \frac{T}{m^2} > q_{trab} = q_{sc} = 38,5 \frac{T}{m^2}$$

Por lo tanto se verifica que el terraplén no falla por hundimiento al momento de instalar la grúa.

3.4. Verificación del asentamiento elástico de la grúa.

Según el método de Harr (1966) (Braja M. Das (1985)) el asentamiento elástico en el centro del pie de la grúa se muestra en la expresión (4.4)

$$Se = \frac{B \cdot q_0}{Es} * (1 - \mu_s^2) * \alpha \quad (4.4)$$

Ésta expresión es válida solo bajo la hipótesis de que la rueda oruga de la grúa simula una cimentación rígida y se está calculando el asentamiento en una esquina.

$B = 1,52$ m (Ancho de la oruga)

$q_0 = 385$ kN/m² (carga que transfiere la grúa al suelo)

$Es = 70000$ kN/m² (Módulo de elasticidad, Arena y grava. Tabla 11.5 cap. 11 cimentaciones superficiales.

Braja M. Das (2001).)

$\mu_s = 0,15$ (Módulo de Poisson)

Con α un factor que relaciona el largo y ancho de la cimentación.

$$\alpha = \frac{1}{\pi} * \left[\ln \left(\frac{\sqrt{1+m^2}+m}{\sqrt{1+m^2}-m} \right) + m * \ln \left(\frac{\sqrt{1+m^2+1}}{\sqrt{1+m^2-1}} \right) \right] \quad (4.5)$$

La relación (4.6) entrega el valor de m:

$$m = \frac{L}{B} = \frac{11,81}{1,52} = 7,76 \quad (4.6)$$

Así reemplazando (4.6) en (4.5) obtenemos el valor de $\alpha = 1,75$

Finalmente reemplazando los valores en la ec. (4.4)

$$Se = \frac{1,52 * 385}{70000} * (1 - 0,15^2) * 1,75$$

$$Se = 0,01 \text{ m} = 1 \text{ cm}$$

Por lo tanto el asentamiento elástico que genera la grúa en el terraplén es de 1 cm, lo cual es admisible para las condiciones especificadas por el proveedor de que $Se < 5$ cm.

5. DISEÑO SISTEMA DE CONTENCIÓN.

5.1. Métodos de diseño.

En innumerables ocasiones, en algunos tipos de obras se generan desniveles en el terreno. Dicho problema depende de múltiples factores para ser solucionado. A veces el terreno logra mantenerse mediante un talud estable y en otras requiere de un sistema de contención que le ayude a soportar las cargas horizontales que generan los empujes, y así poder mantener un equilibrio seguro.

Es, ésta última solución la que será empleada en este proyecto, dado que el terraplén diseñado es de grandes dimensiones y la grúa que se posará sobre él tiene un peso de alrededor de 900 T.

La hipótesis inicial con la que se harán todos los cálculos, es que ésta grúa genera una carga distribuida de manera uniforme en el trasdós del muro.

Los libros guía para el método de diseño son Salgado, R. (2006) *The Engineering of Foundations*. McGraw-Hill Education y Ortuño Abad L. (2005) *Master en mecánica de suelos e ingeniería de cimentaciones*. Ambos textos trabajan con las teorías de Rankine y Coulomb para el cálculo de empujes, dicha teoría puede ser encontrada directamente en la biografía mencionada.

5.2. Diseño del tablestacado.

5.2.1. Condiciones de diseño.

Se presenta la estratigrafías propuestas, con la cual se realizará el diseño del muro tablestacado, en la figura 11 se muestran los datos del tipo de suelos y las profundidades de cada estrato.

Cabe mencionar que se despreciará el nivel freático, ya que se desconoce a que nivel se encuentra, y de existir es probable que tenga la misma altura a cada lado de la tablestaca. En la eventual ejecución del proyecto, debe ser estimada la profundidad a la que se encuentra el nivel freático con exactitud.

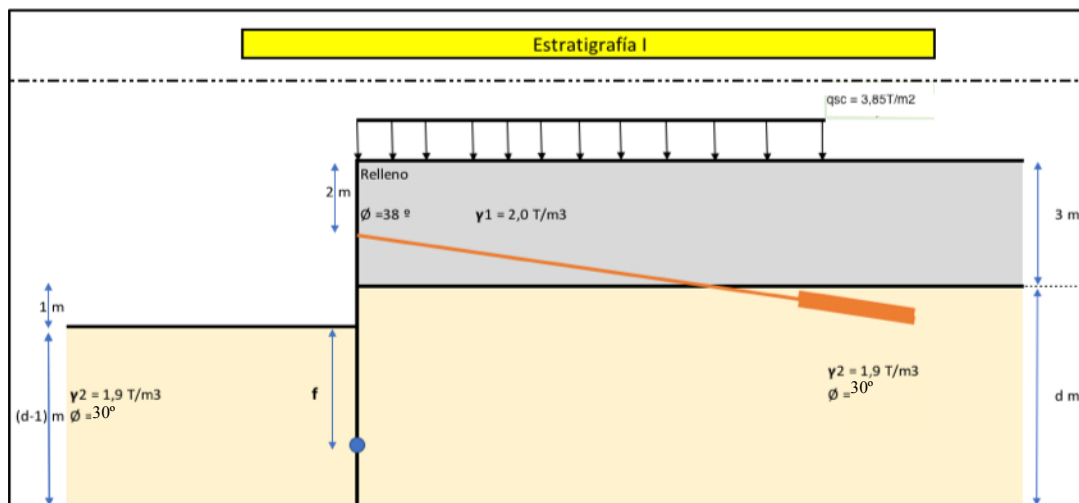


Figura 11. Estratigrafía donde se muestran las condiciones de diseño del terreno de la tablestaca.

(Fuente: Elaboración propia.)

En la figura 11 se muestran dos estratos, dado que el de la superficie corresponde al relleno compactado que mejoró las condiciones de resistencia del suelo.

También de manera esquemática aparece la sobrecarga que representa la grúa que se posará sobre la estructura, cabe mencionar que para el diseño se utilizó una carga de $38,5 \text{ T/m}^2$ ya que los resultados del software mencionado en el punto 4.2.1. son para una carga distribuida triangularmente, es decir, la grúa se inclina sobre sus patas y ejerce una presión casi puntual en la esquina. Sabemos que en la realidad no es así, además de que el método de diseño asume una carga infinita en ambas direcciones, lo cual tampoco es así, dado que los apoyos tienen una superficie de $11,08\text{m} \times 1,52\text{m}$ c/u.

5.2.2. Cálculo de empujes y efecto de cargas externas (grúa).

En este punto se presentan de manera gráfica (Figura 12) cómo interactúan las fuerzas de empuje Activo y Pasivo y la sobrecarga de la grúa en el muro de tablestacado.

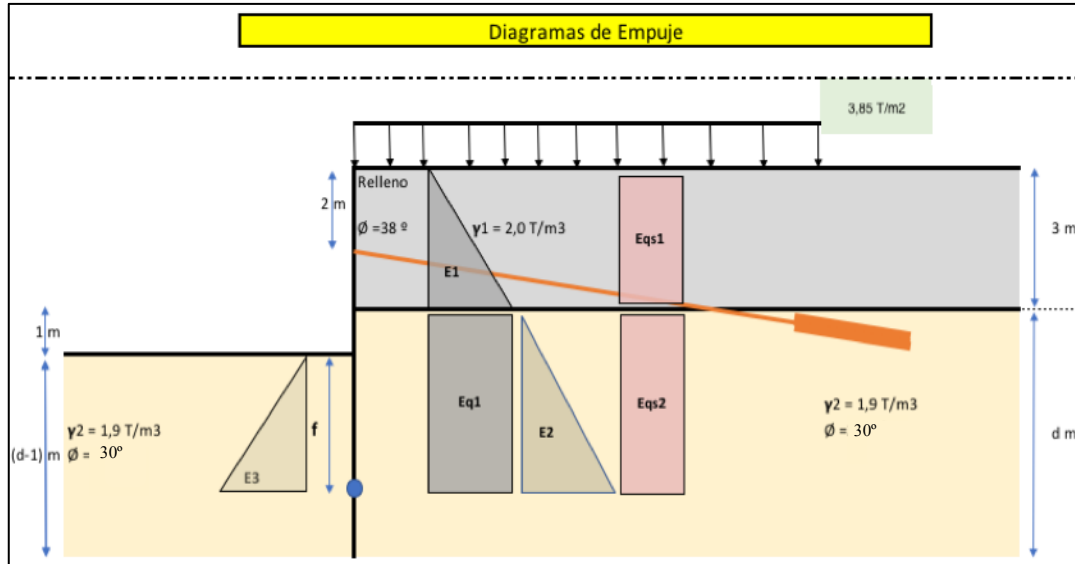


Figura 12. Esquema de diagramas de empujes y representación de sobrecargas.

Lo primero en diseñar debe ser la profundidad a la cual está hincada la tablestaca, así que es necesario calcular los empujes en función de esta profundidad f que se muestra en la figura 12, para luego despejar esta incógnita de la ecuación de momentos que se generan en el punto azul de la tablestaca, ya que es ahí donde los momentos generados por los empujes se hacen cero.

Las ecuaciones de empuje se realizarán mediante el método de coulomb (*Braja M. Das (1985), Capítulo 9 apartado 9.5*), que propone la siguiente expresión para los empujes Activos y Pasivos.

- **Empuje Activo:**

$$Ea = \frac{1}{2} * \gamma * H * Ka \quad (5.1)$$

Donde Ka es el coeficiente de empuje activo, el cual tiene la siguiente expresión.

$$Ka = \left[\frac{\sec(\alpha) * \cos(\phi' - \alpha)}{\sqrt{\cos(\alpha + \delta) + \frac{\sin(\phi' + \delta) * \sin(\phi' - \beta)}{\cos(\alpha - \beta)}}} \right]^2 \quad (5.2)$$

Para el cálculo de Ka y Kp , se realizaron algunas simplificaciones:

$\alpha = 0$ (ángulo de inclinación del relleno)

$\beta = 0$ (muro horizontal)

$\delta = 0$ (no existe ficción tierras-muro)

Finalmente Ka queda como sigue en la expresión (5.3)

$$Ka = \frac{1 - \sin(\phi')}{1 + \sin(\phi')} \quad (5.3)$$

- **Empuje Pasivo:**

$$Ep = \frac{1}{2} * \gamma * H * Kp \quad (5.4)$$

Donde Ka es el coeficiente de empuje activo, el cual tiene la siguiente expresión.

$$Kp = \frac{\cos^2(\phi' + \alpha)}{\cos^2(\alpha) * \cos(\alpha - \delta) + \left[1 - \frac{\sin(\phi' - \delta) * \sin(\phi' - \beta)}{\cos(\alpha + \delta) * \cos(\alpha - \beta)} \right]^2} \quad (5.5)$$

Con las simplificaciones mencionadas en el cálculo de K_a , K_p queda como sigue en la expresión (5.6)

$$K_p = \frac{1 + \text{sen}(\phi')}{1 - \text{sen}(\phi')} \quad (5.6)$$

Es importante mencionar, que los empujes del lado del intradós serán considerados como pasivos, para ir por el lado de la seguridad, pero en el cálculo se utilizará el coeficiente K_0 de empuje en reposo, ya que los empujes están siendo contenidos por el anclaje, por lo tanto no existe un relajación del terreno como para ser considerados como activos, además se está considerando que no existe deformación del tablestacado, como se puede ver en el gráfico de la figura 13, donde se relacionan los coeficientes de empuje con la deformación.

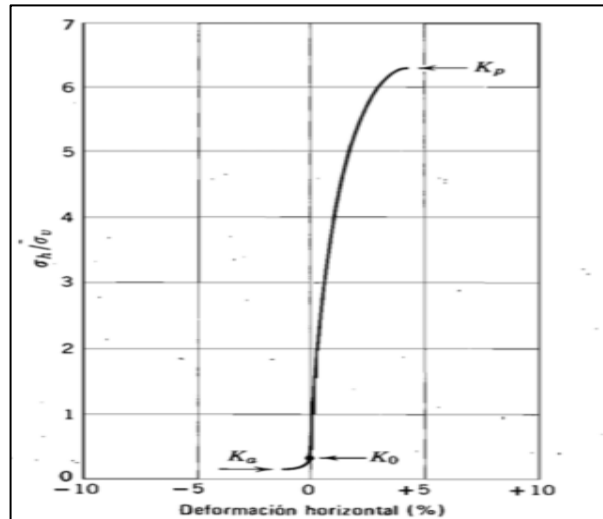


Figura 13. Deformaciones necesarias para que se alcance el estado Activo, Pasivo o Reposo en una arena compacta. Relación de K con la deformación horizontal. (Fuente: *Lambe Mecánica de Suelos cap. 13, fig. 13.7*)

• **Coeficiente en Reposo K_0**

$$K_0 = 1 - \text{sen}(\phi') \quad (5.7)$$

En la tabla 7, se muestra los resultados de los coeficientes K :

Tabla 7: Coeficientes K con cada ángulo de rozamiento interno.

	K_0	K_a	K_p
$\phi' = 38^\circ$	0,38	0,23	4,2
$\phi' = 33^\circ$	0,45	0,29	3,4

Tabla 8: Alturas para los empujes en función de f , y los pesos específicos de ambos estratos mostrados en la figura 10.

H_1 (m)	3
H_2 (m)	$f+1$
H_3 (m)	$f+1$
γ_1 (kN/m ³)	20
γ_2 (kN/m ³)	19

Tabla 10. Empujes en función de la altura f.

E_1 (kN/m)	34,2
E_{q1} (kN/m)	$27 * (f+1)$
E_2 (kN/m)	$4,3 * (f+1)^2$
E_{qs1} (kN/m)	427,5
E_{qs2} (kN/m)	$169 * (f+1)$
E_3 (kN/m)	$35,05 * f^2$

Ahora se obtiene la profundidad f, momentando con respecto al punto donde será ubicado el anclaje, para así saber cuanto debe estar enterrada la tablestaca para estar en equilibrio con lo que aportará el anclaje. En la tabla 11 se pueden ver los brazos para dicho cálculo de momento.

Tabla 11. Brazos de cada Empuje para la ecuación de momento con respecto al punto de anclaje.

B_{E1} (m)	0
B_{Eq1} (m)	$(f+2)/2$
B_{E2} (m)	$(2f+3)/2$
B_{Eqs1} (m)	0,5
B_{Eqs2} (m)	$(f+2)/2$
B_{E3} (m)	$(2f+6)/3$

Ahora la ecuación de momento desde la cual se despejará el valor de f.

$$E_{q1} * B_{Eq1} + E_2 * B_{E2} + E_{qs2} * B_{Eqs2} = E_3 * B_{E3} + E_{qs1} * B_{Eqs1}$$

Finalmente la profundidad f queda de la siguiente manera:

$$f = 5,3 \text{ m}$$

Con el valor de f ya calculado, podemos obtener el valor de la profundidad d que se muestra en la figura 10, la cual debe ser un 20% mayor que f por lo que:

$$d = 1,2 * f = 1,2 * 5,3 \text{ m}$$

$$d = 6,36 \text{ m} \cong 7 \text{ m}$$

así los empujes generados en la tablestaca:

Tabla 12. Magnitudes de los empujes.

E_1 (kN/m)	34,2
E_{q1} (kN/m)	170
E_2 (kN/m)	171
E_{qs1} (kN/m)	427,5
E_{qs2} (kN/m)	1065
E_3 (kN/m)	984,5

5.2.3. Cálculo de anclajes.

Una vez obtenidas todas las fuerzas de empuje de terreno y la profundidad a la cual estará empotrada la tablestaca, es necesario calcular cual es la fuerza que estarán ejerciendo los anclajes para mantener el equilibrio y la estructura no falle. Es por ello que se realiza un diagrama de fuerzas como se muestra en la figura 14 para realizar una ecuación de equilibrio en donde se podrá despejar la fuerza T de los tirantes.

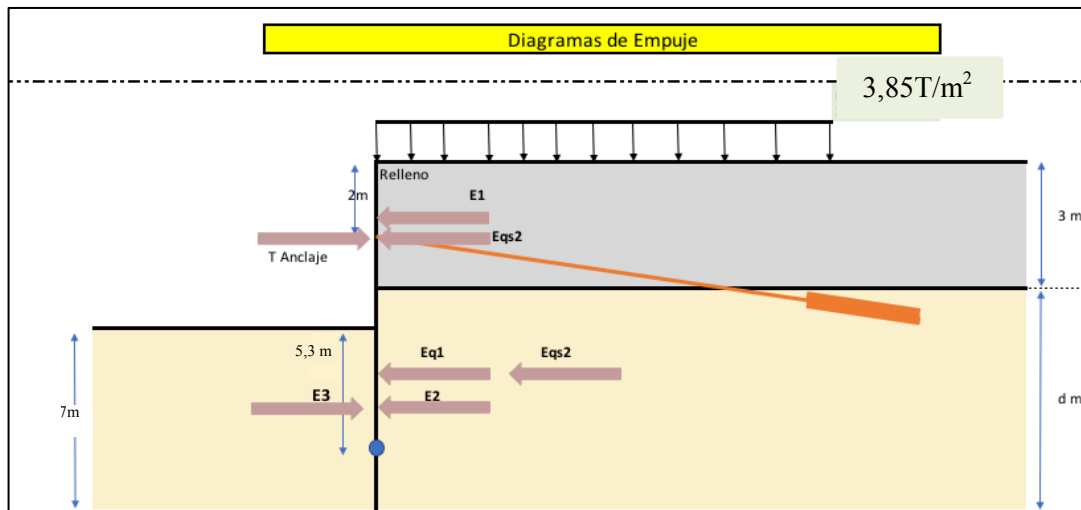


Figura 14. Diagrama de cuerpo libre, con las fuerzas que actúan en la tablestaca.

Se debe aclarar que una vez calculada la fuerza T del anclaje, ésta debe ser corregida, ya que el anclaje lleva una inclinación de 15° con respecto a la horizontal.

La ecuación de equilibrio es como sigue, con ds la distancia entre anclajes en donde estaría actuando cada carga. ds = 2 m (Recomendación Ortuño L. (2004) “*Master en mecánica de suelos e ingeniería en cimentaciones*”)

$$T + E_3 * ds_1 = (E_1 + E_{q1} + E_2) * ds_1 + (E_{qs1} + E_{qs2}) * ds_2$$

$$T = 274 \text{ kN}$$

A esta fuerza T de 274 kN de magnitud se le debe aplicar un factor de seguridad F.S. = 1.5 para poder utilizarla en el cálculo del bulbo de tensión y debe ser corregida para ser utilizada en la dirección correcta, es por ello que se divide por el cos (15°) como se muestra en la expresión 5.8, la cual se explica en detalle en Salgado R. *The Engineering of foundations. Cap. 16 Retaining Structures.*

$$T_d = \frac{T * n * F.S.}{\cos 15} \quad (5.8)$$

$$T_d = \frac{274 * 1,2 * 1,5}{\cos 15} = 510 \text{ kN}$$

• Cálculo de la longitud de anclaje:

El diseño de la atadura, requiere especificación de su ubicación, diámetro y longitudes libres y fija. Aquí se mostrará la determinación del diámetro y la longitud, pues ya se especificó que los anclajes estarán ubicados cada 2 m a 2m de profundidad.

Las dimensiones importantes se muestran en la figura 15.

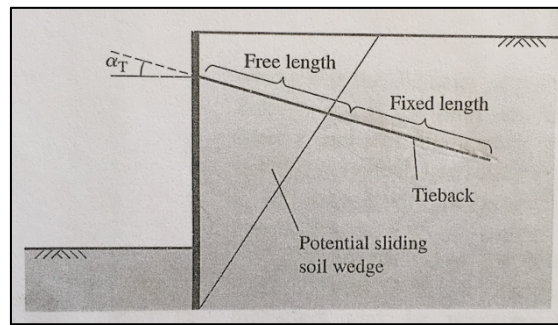


Figura 15. Longitudes de anclaje. (Fuente: Salgado R. *The Engineering of foundations. Cap. 16 Retaining Structures.*)

La longitud libre se determina con referencia a la superficie de deslizamiento potencial que se supone que está inclinada en un ángulo de $45^\circ + \phi/2$ con respecto a la horizontal. La longitud libre debe extenderse más allá de la superficie de deslizamiento por un margen de entre 1 y 5 m. Así entonces el cálculo se convierte en un problema de geometría simple por datos ya conocidos como la inclinación de la atadura y la superficie de deslizamiento, junto con la ubicación de la punta del anclaje en la pared.

El cálculo de la longitud libre se muestra a continuación:

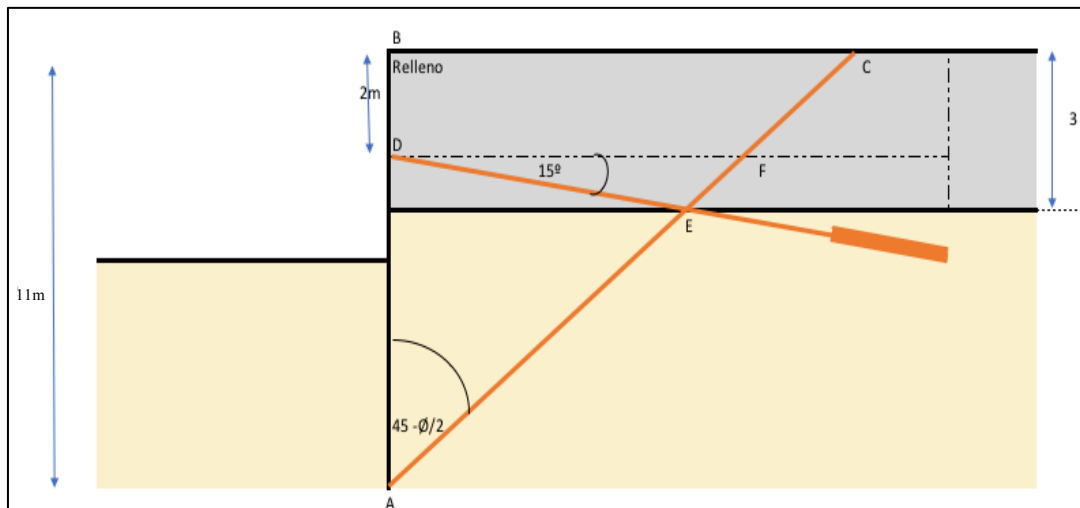


Figura16. Esquema del problema geometrico para calcular la longitud libre DE.

Lo primero es calcular el ángulo que se forma en $\angle EDA$

$$\angle EDA = 90^\circ - \angle FDE = 90^\circ - 15^\circ = 75^\circ$$

$$\angle DAE = 45^\circ - \phi/2 = 45^\circ - 33^\circ / 2 = 28,5^\circ$$

$$\angle DEA = 180 - 75 - 28,5 = 77^\circ$$

Finalmente mediante la ley de los senos:

$$\frac{DA}{\text{sen}(DEA)} = \frac{DE}{\text{sen}(DAE)}$$

$$DE = \frac{DA}{\text{sen}(DEA)} * \text{sen}(DAE)$$

$$DE = \frac{9}{\text{sen}(77^\circ)} * \text{sen}(26^\circ)$$

$$DE = 4,1 \text{ m}$$

Ésta longitud libre de 4,1 m, debe ser aumentada un 20% para que se extienda mas allá de la línea de falla, por lo que finalmente la longitud libre

DE = 4,9 \cong 5 m, pero como por especificación del proceso constructivo, la luz libre debe ser superior a 6 m, ya que a esa distancia es posible tensar dichos anclajes.

Así que finalmente la luz libre

$$\mathbf{DE = 6\ m}$$

La longitud fija comienza donde termina la longitud libre, el anclaje desarrolla su resistencia mediante la unión de su longitud fija con el suelo. La longitud fija d_{res} se calcula como (5.9)

$$\frac{T_d}{\pi * d_{res} * D} = \alpha \quad (5.9)$$

Donde:

T_d = Tensión resistida por el anclaje (kN)

D = Diametro de la perforación (m)

α = Adherencia o tensión de transferencia admisible en el contacto lechada-terreno. (kN/m²)

La adherencia límite se calcula mediante el gráfico de la figura 17, en el se pueden ver las adherencias para varios valores de SPT el cual fue obtenido de la mecánica de suelos realizada por GEOFUN.

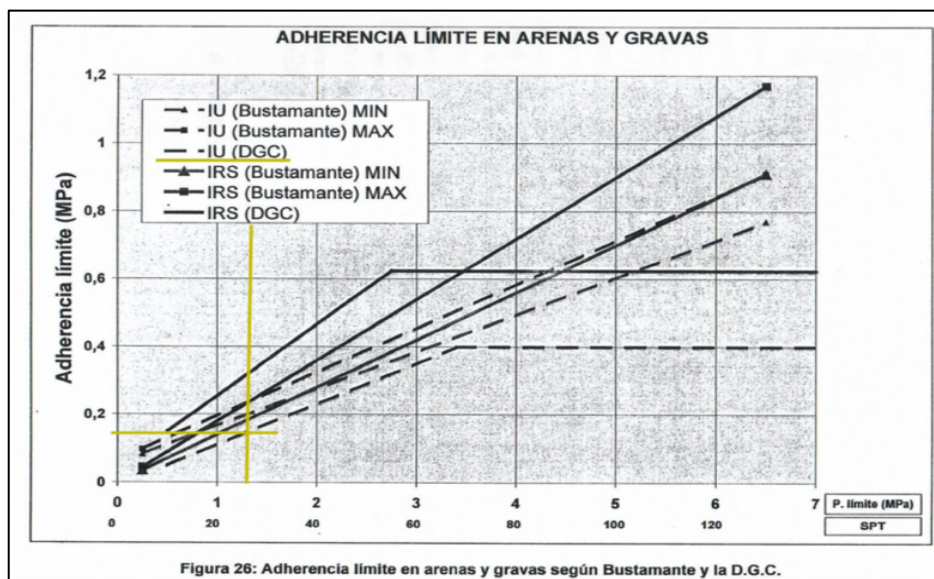


Figura 17. Gráfica de adherencia límite para arenas y gravas.

(Fuente: Murillo T. (2004). “Master en Mecánica de suelos e ingeniería de cimentaciones.”)

El SPT obtenido de la mecánica de suelos, es de 25 para un profundidad de entre 3 y 17 metros, por lo que es el utilizado para ingresar al gráfico. Para llegar al valor de adherencia límite, se debe hacer coincidir este valor de SPT con la línea de Inyección Única, que es el procedimiento que se utiliza en Chile para la instalación de los anclajes. Así la adherencia límite coincide con el valor de 0,18 Mpa.

Otro factor que se debe conocer es el diametro D , el cual se utilizará 10 cm que es lo común para anclajes provisionarios.

Se calcula la longitud fija despejando la ecuación (5.9).

$$L_d = \frac{T_d}{\pi * D * \alpha}$$

$$L_d = \frac{510\ kN}{\pi * 0,1\ m * 180\ \frac{kN}{m^2}}$$

$$L_d = 9,01 \cong 10 \text{ m}$$

Así, la longitud total de perforación del anclaje, debe ser la suma de su longitud libre y su longitud fija.

$$L_{\text{total}} = L_d + DE$$

$$L_{\text{total}} = 10 \text{ m} + 6 \text{ m}$$

$$\mathbf{L_{\text{total}} = 16 \text{ m}}$$

5.2.4. Conclusiones del diseño.

Se presenta un resumen con las características que tendrá la estructura soportante para la grúa que realizará la maniobra de rescate del RAM Poderoso.

Tabla 13. Resumen datos del diseño de la estructura soportante para grúa Manitowoc 18000.

Terraplén	
Dimensiones	25 m x 32 m
Altura	3 m
Capas	Material Chancado
	Relleno Compactado
	Base Estabilizada
Contención	
Tablestacado Metálico	
Perfiles Z 600mm	
Profundidad hincado	7 m
Largo total tablestaca	11 m
Anclajes	Si
Tipo de anclajes	Cables pretensados 6 hilos
Diámetro	32 mm
Longitud	16 m

6. PRESUPUESTO.

Presupuesto Recuperación RAM Poderoso				
1. Movimiento de Tierra.	Unidad	Cantidad	Precio Unitario	Total
1.1. Excavación y traslado a botadero	m3	1121	\$4.920	\$5.515.320
1.2. Mejoramiento y compactación de suelo	m2	800	\$1.650	\$1.320.000
1.3. Geotextil	m2	1120	\$680	\$761.600
1.3. Relleno material chancado	m3	530	\$14.000	\$7.420.000
1.4. Relleno compactado	m3	890	\$8.215	\$7.311.350
1.5. Base estabilizada	m3	380	\$16.000	\$6.080.000
2. Tablestaca	Unidad	Cantidad	Precio Unitario	Total
2.1. Suministro perfiles pantalla tipo Z 600mm	m2	230	\$56.932	\$13.094.360
2.2. Hinca de Tablestaca	Un	13	\$2.105.340	\$27.369.420
2.3. Suministro pilote de anclaje 32mm	Ton	1,8	\$1.767.630	\$3.181.734
2.4. Instalación pilote de anclaje 32mm	Un	13	\$653.222	\$8.491.886
3. Grúa Manitowoc 18000	Unidad	Cantidad	Precio Unitario	Total
3.1. Arriendo Grúa Manitowoc	Un	1	\$54.720.000	\$54.720.000
3.2. Traslado Grúa (arriendo camión + viaje ida y vuelta)	Un	48	\$4.100.000	\$196.800.000
SUBTOTAL OBRA				\$332.065.670
25% GASTOS GENERALES				\$83.016.418
30% UTILIDADES				\$99.619.701
SUBTOTAL				\$514.701.789
19% IVA				\$97.793.340
COSTO TOTAL DE LA OBRA				\$612.495.128

Presupuesto Estructura Metálica					
1. Personal (Construcción Estructura Metálica)	Unidad	Cantidad	Prec. Unitario	Cantidad Personal	Total
1.1. Jefe de Obra	mes	1	\$1.800.000	1	\$1.800.000
1.2. Soldador	mes	1	\$650.000	4	\$2.600.000
1.3. Ayudante de Soldador	mes	1	\$250.000	4	\$1.000.000
1.3. Jornal	mes	1	\$250.000	2	\$500.000
Sub Total					\$5.900.000
12% Leyes Sociales					\$708.000
2. Materiales	Unidad	Cantidad	Prec. Unitario	Cantidad Vigas	Total
2.1. Perfil HEA 200	m	608	\$1.262	51	\$39.138.298
2.2. Tubo A500 4"	m	422,4	\$517	35	\$7.643.328
Sub Total					\$46.781.626
2.3. Perdidas (5%)					\$2.339.081
3. Maquinaria	Unidad	Cantidad	Prec. Unitario	Cantidad	Total
3.1. Herramientas menores	Global	1	\$2.000.000	1	\$2.000.000
SUBTOTAL OBRA					\$57.728.707
GASTOS					
15% GENERALES					\$8.659.306
30% UTILIDADES					\$17.318.612
SUBTOTAL					\$83.706.625
19% IVA					\$15.904.259
TOTAL					\$99.610.884

TOTAL PRESUPUESTO RESCATE RAM PODEROSO	
ESTRUCTURA METÁLICA PROTECTORA	\$99.610.884
GRÚA Y ESTRUCTURA SOPORTANTE	\$606.057.413
TOTAL PROYECTO COMPLETO	\$705.668.297

* Se adjunta cubicación en el Anexo G. (Digital excel)

** Se adjunta tabla de datos de cotizaciones en el Anexo F

Referencias.

- [1] Braja M. Das (2001). *Principios de ingeniería de cimentaciones*. 4 edición.
- [2] Lambe, T. y Whitman, R. (1996). *Mecánica de suelos*. Segunda edición.
- [3] ROM 0.5-94 “*Recomendaciones geotécnicas para el proyecto de obras marítimas y portuarias*”.
- [4] ROM 0.2-90 “*Acciones en el proyecto de obras marítimas y portuarias*”.
- [5] Víctor Alonso Martínez Campos “*Muelles de tablestaca, comparación de los métodos de diseño de Dinamarca y estados unidos*”. Tesis para optar al título de ingeniero civil, Universidad Católica de la Santísima Concepción, 2010.
- [6] Henríquez Cáceres M.A. (2010) “*Muelles de tablestaca, comparación de los métodos de diseño de Dinamarca, Japón, España y Estados Unidos*”. Tesis para optar al título de ingeniero civil, universidad católica de la santísima Concepción.
- [7] Manual de Carreteras Vol. 5. “*especificaciones técnicas generales de construcción*”, 2012.
- [8] Manual de Carreteras Vol. 8. “*especificaciones y métodos de muestreo, ensayos y control*”, 2012.
- [9] Salgado, R. (2007). *The engineering of Foundations*. The McGraw-Hill.
- [10] Ortuño Abad L. Master en mecánica de suelos e ingeniería de cimentaciones. “*Empujes sobre muros. Muros convencionales.*” (2004).
- [11] Ortuño Abad L. Master en mecánica de suelos e ingeniería de cimentaciones. “*Anclajes al terreno.*” (2004).
- [12] Guía para el diseño, construcción, operación y conservación de obras marítimas y costeras, Vol. 1,2,3 y 4, primera edición, 2013.
- [13] Vargas Herrera D. I. (2016) “*Modelamiento y presupuesto, para la recuperación del remolcador de altamar Poderoso.*” Tesis para optar al título de ingeniero civil, Universidad Católica de la Santísima Concepción.
- [14] Espinoza Muñoz H. E. (2017) “*Análisis y diseño de la estructura de refuerzo para la recuperación del remolcador de altamar Poderoso.*” Tesis para optar al título de ingeniero civil, Universidad Católica de la Santísima Concepción.



UCSC

Simposio de Habilitación Profesional
Departamento de Ingeniería Civil
Abril, 2018

Anexos

Anexo A

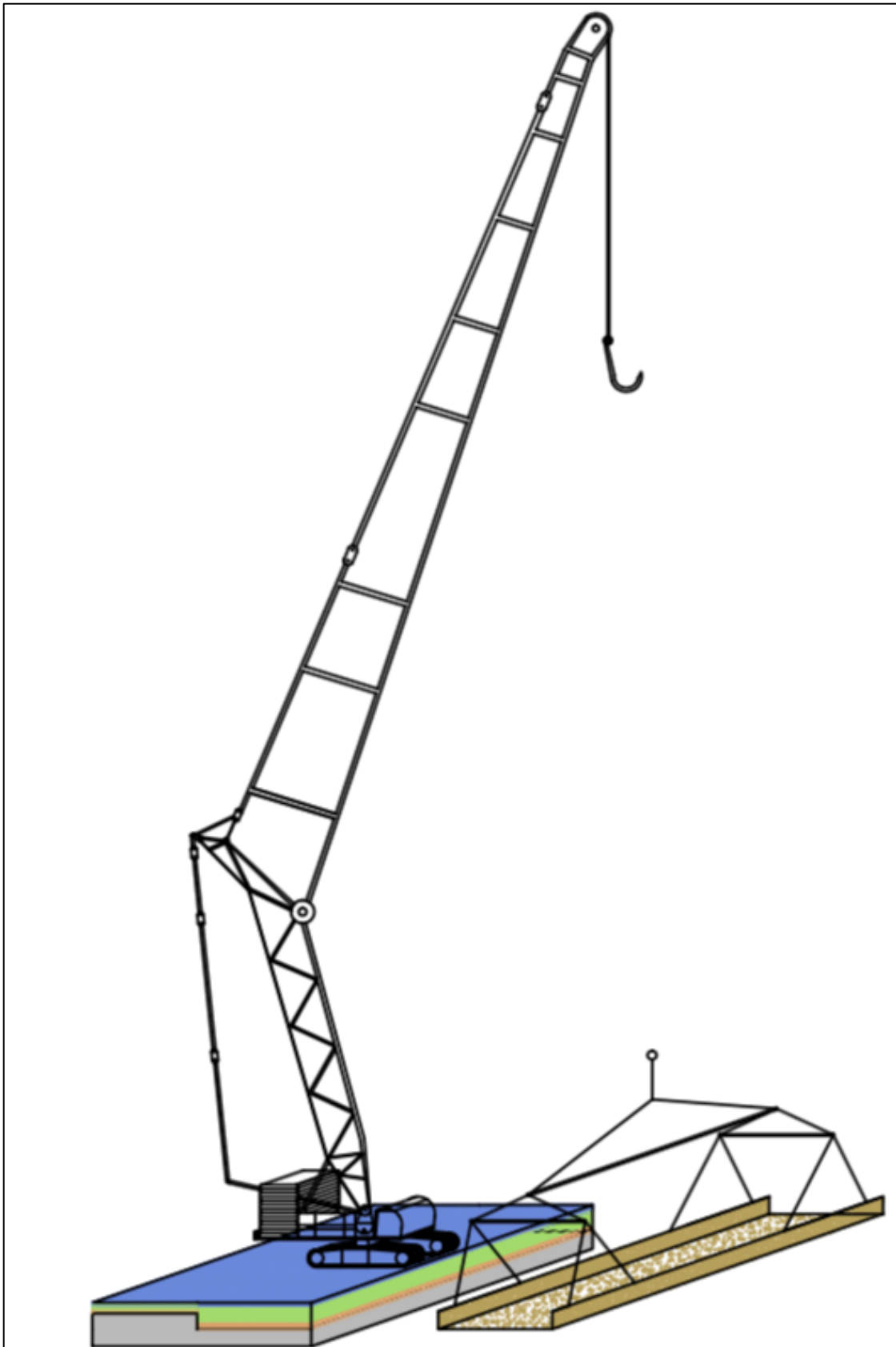


Figura Anexo A. Modelo a escala del terraplén y la grúa.
(Fuente: Elaboración propia en el software AutoCad.) Archivo adjunto en digital.

Anexo B

Anexo B1:

No. 55-79A boom												
239 500 kg (528,000 lb) Counterweight 145 150 kg (320,000 lb) Carbody counterweight												
360° Rating, kg (lb) x 1 000												
Boom length m (ft)												
Radius m (ft)	36,6 (120)	42,7 (140)	48,8 (160)	61,0 (200)	67,1 (220)	73,2 (240)	85,3 (280)	91,4 (300)	97,5 (320)	109,7 (360)	115,8 (380)	121,9 (400)
Radius 7,9 (26)	453,5 (1000.0)											
9,1 (30)	453,5 (1000.0)	453,5 (1000.0)	426,0 (939.3)									
10,0 (34)	419,2 (891.6)	417,7 (888.6)	416,0 (884.8)									
12,0 (40)	349,5 (758.5)	348,2 (755.7)	346,6 (752.0)	340,7 (750.0)	309,8 (683.2)	– (633.7)						
14,0 (45)	297,2 (670.2)	296,2 (667.9)	294,8 (664.8)	294,2 (663.5)	287,1 (647.5)	268,0 (599.8)	220,7 (488.0)					
16,0 (50)	255,8 (595.8)	254,8 (593.6)	253,4 (590.5)	252,8 (589.2)	251,4 (582.7)	235,8 (543.9)	210,9 (481.2)	192,0 (430.5)	177,4 (397.5)			
18,0 (60)	224,1 (485.5)	223,1 (483.4)	221,8 (480.4)	221,2 (479.1)	220,6 (477.4)	211,8 (460.5)	186,8 (406.1)	177,3 (383.4)	167,3 (364.3)	135,3 (298.3)	– (257.4)	– (220.2)

Figura Anexo B. En la tabla se destacan los valores que se utilizaron en el ingreso de datos del software Ground Bearing Pressure.

(Fuente: Manual Manitowoc 18000).

Anexo B2.

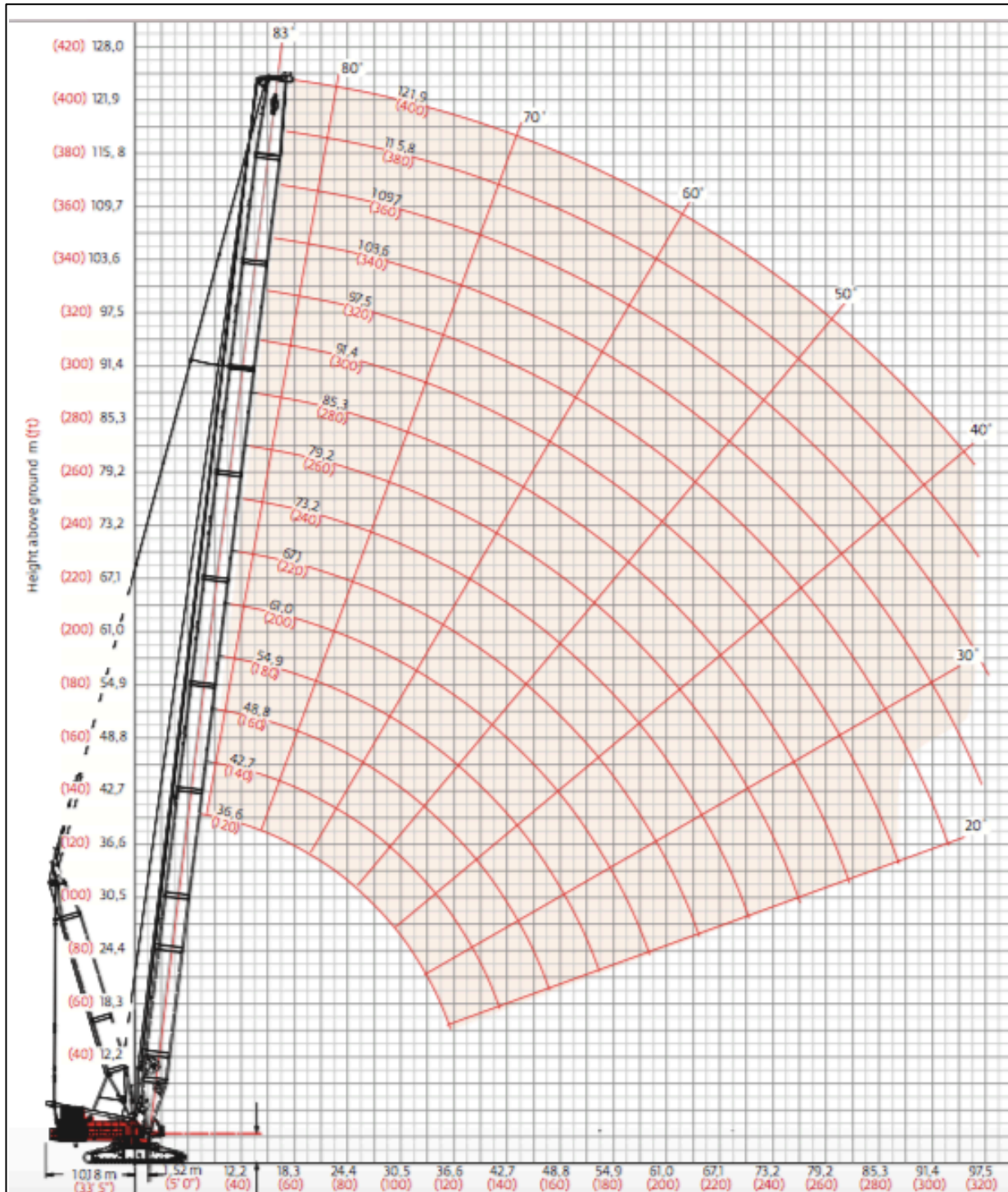


Figura Anexo B2. En el gráfico se muestra el ángulo de inclinación que debe tener la grúa para levantar el peso ingresado en el Software Ground Bearing Pressure, este gráfico es una recomendación para el operador de la grúa.

(Fuente: Manual Manitowok 18000.)

Anexo C

Tabla C1. En la presente tabla se muestran los datos utilizados para el cálculo del q_{adm} por el método de Brinch-Hansen.

Datos			
Suelo		Apoyo grúa	
D_f (m)	0	L (m)	11,81
FS	3	B (m)	1,52
γ (T/m ³)	2	h (m) Var.	3
c	0		
ϕ (°)	33		

Tabla C2. Resultados de la aplicación del método de Brinch-Hansen, para el q_{adm} del suelo natural. Formula de la imagen C3. (Archivo adjunto de manera digital.)

Grúa				Factores de Capacidad de Carga			Factores de Forma			Factores de Inclinación de las Carga			Factores de Profundidad				
q_{adm} (T/m ²)	q_{ult} (t/m ²)	1/2	B*	N_γ	N_q	N_c	s_γ	s_q	s_c	i_γ	i_q	i_c	d_γ	d_q	d_c	q	c
29,87	89,62	0,5	1,52	32,59	26,09	38,64	0,96	1,08	1,09	1	1	1	1	1	1	0	1

Tabla C3. Resultados de la aplicación del método de Brinch-Hansen, con la aplicación de la formula de la imagen C3.

Grúa				Factores de Capacidad de Carga			Factores de Forma			Factores de Inclinación de las Carga			Factores de Profundidad				
q_{adm} (T/m ²)	q_{ult} (t/m ²)	1/2	B*	N_γ	N_q	N_c	s_γ	s_q	s_c	i_γ	i_q	i_c	d_γ	d_q	d_c	q	c
86,88	260,6	0,5	11,8	20,09	18,40	30,14	0,96	1,07	1,08	1	1	1	1	1	1	0	0

Brinch-Hansen (1968)

$$q_{ult} = \frac{1}{2} \cdot \gamma \cdot B^* \cdot N_\gamma \cdot s_\gamma \cdot i_\gamma \cdot d_\gamma \cdot t_\gamma \cdot r_\gamma + q \cdot N_q \cdot s_q \cdot i_q \cdot d_q \cdot t_q \cdot r_q + c \cdot N_c \cdot s_c \cdot i_c \cdot d_c \cdot t_c \cdot r_c$$

Simbología

q_{ult} : Tensión de hundimiento de la zapata γ : Densidad natural ϕ : Ángulo de rozamiento interno del suelo c : Cohesión B^* : Ancho efectivo (ver siguiente diapo.)	N_γ, N_c, N_q : Factores de capacidad de carga s_γ, s_c, s_q : Factores de forma i_γ, i_c, i_q : Factores de inclinación de las cargas d_γ, d_c, d_q : Factores de profundidad t_γ, t_c, t_q : Factores de cercanía al talud r_γ, r_c, r_q : Factores de inclinación plano de apoyo
---	--

Imagen C3. Fórmula del método de Brinch-Hansen (1968).

Anexo D

ENSAYE	NORMA ASTM	UNIDAD	REQUISITOS MINIMOS	
			$\epsilon_r < 50\%$	$\epsilon_r > 50\%$
Resistencia a Tracción Longitudinal	D 4632	N	1.100	700
Costurado	D 4632	N	990	630
Punzonamiento (1)	D 4833	N	400	250
Corte Trapezoidal	D 4533	N	400	250
Resistencia al Reventado	D 3786	kPa	2.700	1.300
Permitividad	D 4491	s ⁻¹	0,05	0,05
Abertura Aparente de Poros, (AOS)	D 4751	mm	0,43	0,43
Estabilidad UV, 500 h	D 4355	%	50	50

(1): Resistencia Perpendicular

Imagen D1. Tabla requisitos de los geotextiles para estabilización de suelos (Fuente: manual de carreteras vol. 5, tabla 5.204.202.A)

ENSAYE	NORMA ASTM	UNIDAD	REQUISITOS		
			$\epsilon_r < 50\%$	$\epsilon_r > 50\%$	
Resistencia A Tracción Longitudinal	D 4632	N	800	500	
Costurado	D 4632	N	720	450	
Punzonamiento (1)	D 4833	N	300	180	
Corte Trapezoidal	D 4533	N	300	180	
Resistencia al Reventado	D 3786	kPa	2.100	950	
% que pasa tamiz 0,08 mm					
			< 15%	15% a 50%	≥ 50%
Permitividad	D 4491	s ⁻¹	0,5	0,2	0,1
Abertura Aparente de Poros (AOS)	D 4751	mm	0,43	0,25	0,22 (2)
Estabilidad UV, 500 h	D 4355	%	50	50	50

(1): Resistencia Perpendicular
(2): Para suelos cohesivos con índice de plasticidad mayor que 7%, la Abertura Aparente deberá ser la que indique el diseño.

Imagen D2. Tabla requisitos de los geotextiles para drenaje (Fuente: manual de carreteras vol. 5, tabla 5.204.202.C)

ENSAYE	NORMA ASTM	UNIDAD	REQUISITOS		
			$\epsilon_r < 50\%$	$\epsilon_r > 50\%$	
Resistencia a Tracción Longitudinal	D 4632	N	1.100	700	
Costurado	D 4632	N	990	630	
Punzonamiento (1)	D 4833	N	400	250	
Corte Trapezoidal	D 4533	N	400 (2)	250	
Resistencia al Reventado	D 3786	kPa	2.700	1.300	
% que pasa tamiz 0,08 mm					
			< 15%	15% a 50%	≥ 50%
Permitividad	D 4491	s ⁻¹	0,7	0,2	0,1
Abertura Aparente de Poros (AOS)	D 4751	mm	0,43	0,25	0,22 (3)
Estabilidad UV, 500 h	D 4355	%	50	50	50

(1): Resistencia Perpendicular
(2): Mínimo 250 N para tejido monofilamento
(3): Para suelos cohesivos con índice de plasticidad mayor que 7%, la Abertura Aparente deberá ser la que indique el diseño.

Imagen D3. Tabla requisitos de los geotextiles para control de erosión (Fuente: manual de carreteras vol. 5, tabla 5.204.202.D)

Anexo E.



Figura E1. Ubicación del RAM Poderoso en un terreno aledaño al Puerto de Talcahuano. (Fuente: Google maps.)

Anexo F.

1. Movimiento de Tierra.	Empresa Cotizada	Contacto
1.1. Excavación y traslado a botadero	Soenco	+56 412139231
1.2. Mejoramiento y compactación de suelo		
1.3. Geotextil	Insytec	+56 2 27328410
1.3. Relleno material chancado		
1.4. Relleno compactado	Cantera Lonco S.A.	+56 41 291 92 01
1.5. Base estabilizada		
2. Tablestaca	Empresa Cotizada	Contacto
2.1. Suministro perfiles pantalla tipo Z 600mm		
2.2. Hinca de Tablestaca	CSP compañía sudamericana de postensado y geotecnica	+56 2 29020514
2.3. Suministro pilote de anclaje 32mm		
2.4. Instalación pilote de anclaje 32mm		
3. Grúa Manitowoc 18000	Empresa Cotizada	Contacto
3.1. Arriendo Grúa Manitowoc	Trixa (Antofagasta)	+56 55 2423464
3.2. Traslado Grúa (arriendo camión + viaje ida y vuelta)	Argon maquinarias (Antofagasta)	+56 9 9281 5327