

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ

FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA



**ANÁLISIS DE PROCESOS CONSTRUCTIVOS DE RELLENO
PARA PLATAFORMAS DE RECEPCIÓN FÉRREA EN PUERTOS-
“PUERTO MATARANI”.**

Tesis para optar el Título de **Ingeniero Civil**, que presenta el bachiller:

Jimmy Niels Davis Olivera Artola

ASESOR: Iván Enrique Bragagnini Rodríguez

Lima, abril de 2018

Resumen

El Proyecto del Puerto de Matarani se encuentra en la provincia de Islay, Arequipa. El acceso para llegar al puerto es a través de una carretera asfaltada de aproximadamente 120 Km hacia el suroeste de la ciudad de Arequipa. Es en este lugar donde se desarrollará el presente trabajo de tesis. El objetivo es describir las metodologías constructivas y procedimientos en la ejecución de rellenos de terraplén con muro de tierra armada y pedraplén con muros de tierra armada para el conformando de plataformas en los túneles de recepción férrea en esta zona.

Al iniciar el proyecto se había desarrollado el uso de procedimientos constructivos de terraplén para la conformación de la plataforma en las fajas transportadoras. Sin embargo, este proceso constructivo, posteriormente sería sustituido por la actualización de este y la reutilización de los recursos a pie de obra. Es por ello, que se opta por el cambio a un procedimiento mixto al usar pedraplén y muro de suelo reforzado, sustentando desde estudios el uso material explotado obtenido de las excavaciones iniciales en obra.

De esta manera, el objetivo principal es describir las soluciones de ingeniería, de metodología constructiva y buenas prácticas destinadas a aplicar en zonas de características similares en litorales costeros.

TEMA DE TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL

Título : "ANÁLISIS DE PROCESOS CONSTRUCTIVOS DE RELLENO PARA PLATAFORMAS DE RECEPCIÓN FERREA EN PUERTOS – "PUERTO MATARANI"
Área : Construcción y Gestión
Asesor : Ing. Iván Enrique Bragagnini Rodríguez
Alumno : JIMMY NIELS DAVIS OLIVERA ARTOLA
Código : 2008.4047.412
Tema N° : # 268
Fecha : Lima, 24 de mayo 2016



INTRODUCCIÓN:

En el Perú las obras de infraestructura de proyectos portuarios presentan un gran déficit; en el VII Foro Internacional de Puertos el país quedó como el segundo de Latinoamérica con la brecha más grande de infraestructura portuaria y el primero en proyectos y obras. Los pocos proyectos de mejora en puertos lo realiza la iniciativa privada con el objetivo de mejorar el déficit que tiene la infraestructura portuaria, este déficit afecta la exportación de productos extraídos en nuestro territorio.

El Perú es un país minero, debe tener estructura en los puertos que faciliten la exportación de las materias primas, no solo de la minería sino productos de pesca, agricultura y otros.

Por ello es necesario generar proyectos ambiciosos y de complejidad de mayores alcances y también involucrando las operaciones con eficiencia y con ello ser competitivos a niveles internacionales.

Además este problema está estrechamente vinculado con la necesidad de incrementar la mayor producción y carguío de materiales en estos puertos, es por lo cual la tecnología constructiva va teniendo una relevancia mayor en términos de plazos y costos. Como lo dice Frankel: "Los puertos se han vuelto más importantes de lo que solían ser debido al incremento en el comercio mundial. En los años 80 más del 82% en toneladas y el 94% en toneladas-kilómetros trasladados por el envío." (Frankel, 1987)

Con el fin de poder afrontar esta deficiencia es que desde hace algunos años se están planteando reformas en la organización de los puertos para que sean más competitivos, gran parte de estas reformas se debieron a la incursión del sector privado.

Es debido a esta problemática que se desarrollará el siguiente trabajo por la necesidad de aplicar tecnología y nuevas ideas en el desarrollo del sistema portuario, así mismo la falta de profesionales especializados y conocimiento en las soluciones que se pueden aplicar en el desarrollo de la Ingeniería Civil en el país.

Este problema se pudo observar en el desarrollo del Proyecto Matarani en el cual se tuvo que replantear las estrategias constructivas con el fin de afrontar estos desafíos.

El desarrollo de estas prácticas será el alcance de lo que será la investigación.

El Proyecto está basado en el transporte, almacenaje, carguío de minerales a embarcaciones y amarradero con el fin de incrementar el flujo de minerales en exportación de los materiales.

El Proyecto Matarani se ubica en la Provincia de Islay - Región Arequipa.

El área del proyecto está en el litoral costero del Pacífico a 1090 km al Sur de la Ciudad de Lima a 120 km aproximadamente de la Ciudad de Arequipa.

JUSTIFICACIÓN:

En la realización de este proyecto se presentaron diversas incertidumbres y cambios en los procesos constructivos debido a que los procesos planteados inicialmente, no lograban satisfacer la realidad concreta del proyecto, debido a estudios insuficientes sobre este o la no consideración de algunas metodologías constructivas, siendo en ocasiones incluso imperativo cambiar los procesos completamente, con el fin de generar soluciones que permitan realizar el procedimiento de una manera ingenieril y completar con el proyecto y poder obtener un mayor beneficio económico.

OBJETIVOS:

Objetivo General

El objetivo general es el de describir las metodologías constructivas y procedimientos con el fin de analizar las soluciones de Ingeniería y la reducción de costos en la implementación de pedraplenes y muros de tierra armada en el Proyecto Matarani comparado al uso de solo terraplén y muro de tierra armada.

Objetivos específicos:

- Definir y explicar las diferentes metodologías posibles a usar en un relleno de cobertura para una faja transportadora.
- Definir los requerimientos técnicos e ingenieriles para la realización de cada metodología planteada.
- Dimensionar los recursos requeridos para la aplicación de terraplén y pedraplén.



- Presentar buenas práctica sal afrontar las complicaciones en la realización del proceso constructivo.

PLAN DE TESIS:

CAPITULO 1

¿En qué situación se encuentra la Ingeniería Portuaria?

Antecedentes y justificación

- Antecedentes históricos
- Justificación

Objetivos

- Objetivo General
- Objetivos Específicos

CAPITULO 2

Generalidades del Proyecto

Descripción General del Proyecto

- On shore
- Off shore

Estado del Arte

CAPITULO 3

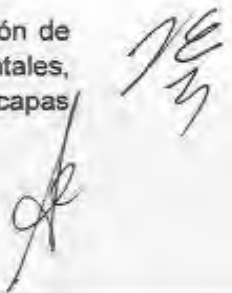
Procedimiento y Metodologías Constructivas

Proyecto Inicial

- Estudios Iniciales: Topografía inicial, estudio sísmico, estudio de refracción sísmica y MASW
- Terraplén y Gaviones

Proyecto Aplicado

- Condiciones Reales: Diseño de muro de tierra armada e interfaz con suelo reforzado, análisis de refracción sísmica y MASW -MAN.
- Proceso Constructivo del Terraplén: Selección del material de Zaranda, ejecución de un tramo de prueba y ejecución en confrontación de túnel de recepción.
- Proceso Constructivo de Tierra Armada: Excavación del subsuelo, colocación de solera, instalación de apoyo sobre soleras, colocación de paramentos frontales, colocación de geotextil no tejido, tubería, geocompuesto, colocación de las capas de relleno y colocación de refuerzos GEOSTRAP 5.



CAPITULO 4

Etapa de Planeamiento y Resultados

Costos

- Costo y Productividad de Mano de Obra y Equipos
- Costo Total

Programación de Actividades (Días de Construcción)

Lecciones aprendidas

Conclusiones y Recomendaciones

Glosario

Bibliografía




AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, a Dios por brindarme la fuerza para continuar avanzando ante las adversidades a lo largo de la carrera.

A mis padres, por darme la vida y enseñarme el valor de la persistencia y la paciencia para afrontar los retos. A mi familia en general por confiar y creer en mí.

A mi asesor el Ing. Ivan Bragagnini puesto que su conocimiento compartido en clases y su experiencia, me han ayudado en el crecimiento profesional en la rama de infraestructura.

A Odebrecht, por brindarme la oportunidad de iniciar mi carrera profesional en grandes proyectos ingenieriles.

Y gracias a todos lo que me apoyaron directa o indirectamente



ÍNDICE

1. CAPITULO 1: ¿EN QUE SITUACIÓN SE ENCUENTRA LA INGENIERÍA PORTUARIA?	1
1.1. Antecedentes y justificación:	1
1.1.1. Antecedentes Históricos:.....	1
1.1.2. Justificación:.....	2
1.2. Objetivos:.....	2
1.2.1. Objetivo General.....	2
1.2.2. Objetivos Específicos.....	3
2. CAPITULO 2: GENERALIDADES DEL PROYECTO	4
2.1. Descripción general del proyecto:.....	4
2.1.1. On shore:	5
2.1.2. Off shore:	10
2.2. Estado del Arte:	10
3. CAPITULO 3: PROCEDIMIENTO Y METODOLOGÍAS CONSTRUCTIVAS	13
3.1. Proyecto inicial:.....	13
3.1.1. Estudios Iniciales:.....	13
3.1.1.1. Topografía Inicial:.....	13
3.1.1.2. Estudio de Olas:.....	13
3.1.1.3. Estudio Sísmico:.....	14
3.1.1.4. Estudio de refracción sísmica y MASW:	16
3.1.2. Terraplenado	17
3.2. Proyecto Aplicado.....	19
3.2.1. Condiciones Reales.	19
3.2.1.1. Diseño de muro de tierra Armada e interfaz con suelo reforzado	19
3.2.1.1.1. Estabilidad Externa:.....	22
3.2.1.1.2. Estabilidad Interna:	23
3.2.1.1.3. Análisis de estabilidad de Bishop.....	26
3.2.1.2. Análisis de refracción sísmica, MASW- MAM:.....	30
3.2.2. Proceso constructivo del Pedraplén.....	33
3.2.2.1. Selección de Material de Zaranda	33
3.2.2.2. Ejecución de un tramo de prueba	36

3.2.2.3.	Ejecución en confrontación de túnel de Recepción:	36
3.2.3.	Proceso constructivo de Tierra Armada.....	38
3.2.3.1.	Excavación de subsuelo.....	38
3.2.3.2.	Colocación de Solera:.....	39
3.2.3.3.	Instalación de Apoyos sobre Soleras	41
3.2.3.4.	Colocación de Paramentos frontales:	41
3.2.3.5.	Colocación del Geotextil No Tejido, Tubería y Geocompuesto:	46
3.2.3.6.	Colocación de las capas de relleno:.....	50
3.2.3.7.	Colocación de refuerzos GEOSTRAP 5:	53
4.	CAPITULO 4: ETAPA DE PLANEAMIENTO Y RESULTADOS	56
4.1.	Metrados:.....	56
4.2.	Productividad de mano de obra:	57
4.3.	Costos:	58
4.3.1.	Costo y productividad de mano de obra y equipos:.....	59
4.3.1.1.	Costo horario de Mano de Obra.....	59
4.3.1.2.	Costo total por Actividad.....	60
4.3.2.	Costo total:.....	65
4.4.	Programación de actividades	68
4.4.1.	Días practicables:	68
4.4.1.1.	Días de lluvia.....	68
4.4.1.2.	Jornal Semanal:.....	73
Fuente: Elaboración propia.....		73
4.4.2.	Días de construcción:	74
4.5.	Lecciones Aprendidas.....	75
5.	CAPITULO 5: CONCLUSIONES	77
6.	BIBLIOGRAFIA:.....	79
7.	GLOSARIO:.....	82

Índice de Tablas:

Tabla 1 : Especificaciones de plataforma férrea	8
Tabla 2 : Análisis en tierra armada.....	12
Tabla 3 : Valores de Aceleración Máxima Horizontal Esperada.....	15
Tabla 4: Propiedades.....	19
Tabla 5: Metrado de cargas de Diseño.....	21
Tabla 6 : Resultados de Análisis Externo.....	25
Tabla 7: Resultado de análisis de Bishop	26
Tabla 8: Caso tren UIC71.....	28
Tabla 9 : Porcentajes especificados por PG-3:	34
Tabla 10 : Propiedades de los geotextiles no tejidos	47
Tabla 11 : Propiedades del Geocompuesto.....	48
Tabla 12 : Propiedades de tubería AASHTO M252.....	50
Tabla 13 : Granulometría de las capas.....	50
Tabla 14 : Propiedades Mecánicas de GEOSTRAP 5	53
Tabla 15 Propiedades del GEOSTRAP 5.....	54
Tabla 16 : Metrados	56
Tabla 17 : Cuadrilla requerida para Terraplenado	57
Tabla 18 : Cuadrilla requerida para Pedraplén en Plataforma.....	57
Tabla 19 : Cuadrilla requerida para Pedraplén en Plataforma.....	58
Tabla 20: Cálculo del costo horario de la mano de obra Directa.....	59
Tabla 21 : Análisis de costos y rendimiento de relleno con suelo (terraplén).....	61
Tabla 22: Productividad de la Zaranda de 15"x 15".....	62
Tabla 23 : Rendimiento de Pedraplén en plataformas	63
Tabla 24 : Análisis de Pedraplén en túneles.....	64
Tabla 25 : Comparativo de costos por procedimiento	65
Tabla 26: Costo del proyecto del Terramesh.....	66
Tabla 27: Calendario de procesos constructivos.....	70
Tabla 28: Días practicables por mes para Terraplén.....	72
Tabla 29: Días practicables por mes para Pedraplén	72
Tabla 30: Análisis de turno diurno	73
Tabla 31: Análisis de turno nocturno.....	73
Tabla 32 : Comparativo en Días	74

Índice de imágenes:

Imagen 1: Ubicación geográfica del proyecto	4
Imagen 2: Ubicación de la zona de trabajo	6
Imagen 3: Sectores de trabajo	7
Imagen 4: Bloques geológicos de la ciudad de Arequipa	17
Imagen 5: Esquema de parámetros Geotécnicos	19
Imagen 6: Distribución de cargas para análisis Externo.....	22
Imagen 7: Modos de Falla a analizar en la estabilidad interna	23
Imagen 8: Coeficientes de empuje horizontal al interior del macizo de Tierra Armada	24
Imagen 9: Línea de tensión máxima	25
Imagen 10: Análisis de Estabilidad Global Estático -cimentación.....	27
Imagen 11: Estabilidad Global Pseudo Estático -cimentación.....	28
Imagen 12: Análisis de Estabilidad global estático en TrenUIC71.....	29
Imagen 13: Análisis de Estabilidad Global Pseudo Estático de tren UIC71.....	29
Imagen 14: Velocidades de corte calculadas a partir de MASW-MAM 01	30
Imagen 15: Velocidades de corte calculadas a partir de MASW-MAM 2.....	31
Imagen 16: Perfil LS- 01	32
Imagen 17: Perfil LS- 02	32
Imagen 18: Selección de material de Pedraplén mediante Zaranda	33
Imagen 19: Granulometría de la roca obtenida del terreno	34
Imagen 20: Ensayo de Abrasión en Maquina de los Ángeles.....	35
Imagen 21: Disposición de pedraplén en túneles.....	37
Imagen 22: Detalle del pedraplén	37
Imagen 23: Excavación de Solera de nivelación	39
Imagen 24: Compactación para Solera de Nivelación.....	39
Imagen 25: Colocación del encofrado.....	40
Imagen 26: Solera Típica y dimensiones	40
Imagen 27: Soleras terminadas	41
Imagen 28: Izaje de primer paramento	42
Imagen 29: Colocación de primer Paramento	43
Imagen 30: Alineamiento Horizontal	43
Imagen 31: Alineamiento Vertical.....	44
Imagen 32: Colocación de apuntalamiento	45
Imagen 33: Instalación de Paramento medio	45
Imagen 34: Colocación de sargentos.....	46
Imagen 35: Colocación de geotextil en paramentos.....	48
Imagen 36: Diagrama de Geotextil y Geocompuesto	49
Imagen 37: Configuración de primera capa de relleno.....	53
Imagen 38 : Histograma de temperatura y precipitación	68

1. CAPITULO 1: ¿EN QUE SITUACIÓN SE ENCUENTRA LA INGENIERÍA PORTUARIA?

1.1. Antecedentes y justificación:

1.1.1. Antecedentes Históricos:

Las obras de infraestructura en el Perú presentan un grave déficit de ejecución y realización puesto que, de conformidad con lo evidenciado en el VII Foro Internacional de Puertos, nuestro país fue catalogado como el segundo país de Latinoamérica con la brecha más grande de infraestructura y el primero en el campo de la infraestructura portuaria.

En ese contexto, la iniciativa privada se ha convertido en una impulsadora del desarrollo de tecnología en procesos constructivos portuarios, se han emprendido proyectos, como el que se analizará en el presente estudio, con el fin de acortar esta brecha y propiciar una explotación más eficiente de los recursos extraídos de nuestro territorio, generando así proyectos cada vez más ambiciosos y de mayor complejidad que involucran también la operación eficiente de estos.

Cabe resaltar que la necesidad de desarrollar infraestructura portuaria más eficiente está estrechamente vinculada con la necesidad de incrementar la producción y carguío de materiales en estos puertos a efectos de acotar la brecha de infraestructura e incrementar el nivel de competitividad del país en el mercado internacional, debido a que, como señala Frankel “Los puertos se han vuelto más importantes de lo que solían ser debido al incremento en el comercio mundial. En los años 80 más del 82% en toneladas y el 94% en toneladas –kilómetros trasladados por el envío”¹. Es por ello que la tecnología constructiva va adquiriendo mayor relevancia en términos de generar mayor eficiencia de plazos y costos.

Con el fin de poder afrontar el problema planteado, hace algunos años se está planteando un aprovechamiento más eficiente de los espacios portuarios con el fin de que estos sean más competitivos. Gran parte de estas reformas se debieron a la incursión del sector privado, como afirma Beato: “Se caracterizaron por una mayor

¹ FRANKEL, E.G. “Port Planning and Development”. Editorial: Wiley. New York, 1987.

participación del sector privado y un aumento de la competencia en la provisión de servicios, la ruptura del monopolio de los mercados de trabajo y una redefinición del rol de la autoridad privada”², de manera que se redistribuyeron los objetivos y se empezó a invertir más en tecnología, ampliación y renovación de la infraestructura existente.

Es debido a esta problemática que se desarrollará la siguiente tesis; ya que existe necesidad de profesionales especializados que investiguen, apliquen y aporten nuevas ideas en el desarrollo de procesos constructivos portuarios en nuestro país que lleven a una mayor eficiencia y competitividad en el mercado.

Esta necesidad de innovación se observó en el desarrollo del Proyecto Matarani, en el cual se tuvieron que replantear las estrategias constructivas con el fin de afrontar desafíos en temas de costos y plazos de ejecución. El desarrollo de estas prácticas será el alcance de lo que será parte de esta investigación.

1.1.2. Justificación:

En la realización de este proyecto se presentaron diversas incertidumbres y cambios en los procesos constructivos debido a que los procesos planteados inicialmente no lograban satisfacer realidad concreta del proyecto. Los estudios insuficientes sobre el proyecto o la no de consideración de algunas metodologías constructivas, dieron como resultado el cambio de algunos procedimientos. Ello con la finalidad de generar soluciones que permitan realizar el proyecto de una manera ingenieril, completar el proyecto en el puerto Matarani y poder obtener un mayor beneficio económico.

1.2. Objetivos:

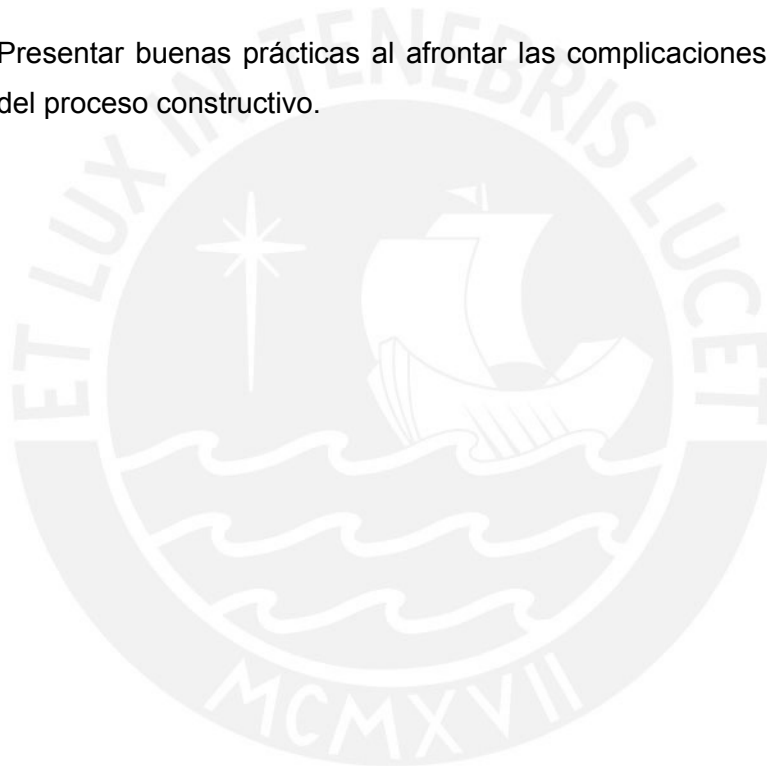
1.2.1. Objetivo General

El objetivo general es de describir las metodologías constructivas y procedimientos, con el fin de analizar las soluciones de ingeniería y la reducción de costos en la implementación de pedraplenes y muros de tierra armada en comparación al solo uso de terraplén y muro de tierra armada.

² BEATO, Paulina. “Las reformas portuarias en Latinoamérica. Estudio de tres puertos”. Editorial: BID. Washington D.C, 1996.

1.2.2. Objetivos Específicos

- Definir y explicar las diferentes metodologías posibles aplicables en un relleno de cobertura para una faja transportadora.
- Definir los requerimientos técnicos e ingenieriles para la realización de cada metodología planteada.
- Dimensionar los recursos requeridos para la aplicación de terraplén y pedraplén.
- Presentar buenas prácticas al afrontar las complicaciones en la realización del proceso constructivo.



2. CAPITULO 2: GENERALIDADES DEL PROYECTO

2.1. Descripción general del proyecto:

El Proyecto Matarani está basado en el transporte, almacenaje, carguío de minerales a embarcaciones y amarradero con el fin de incrementar el flujo de minerales en exportación de estos.

El área del proyecto se encuentra ubicada en el litoral costero del Pacífico a 1090 kilómetros al sur de la ciudad de Lima, a 120 kilómetros aproximadamente de la ciudad de Arequipa, entre las cotas de 0 y 51 m.s.n.m. en el distrito y provincia de Islay, en la región de Arequipa. Como se aprecia en la siguiente imagen:



Imagen 1: Ubicación geográfica del proyecto

Fuente: Odebrecht

El puerto Matarani es un proyecto desarrollado bajo la modalidad contractual EPC+C³, cuyo alcance es el desarrollo de detalle ingenieril, la construcción de la infraestructura, el comisionamiento y operaciones de recepción, almacenamiento y

³ Engineering, Procurement Construction and Commissioning, por sus siglas en inglés. Es también llamado contrato llave en mano e incluye el diseño, planeamiento, la construcción, la gestión y comisionamiento del mismo; es decir, que todo el sistema de equipos y maquinaria mecánicos presenten un correcto funcionamiento y calibración.

embarque a nave de minerales⁴.El proyecto logra permitir el despacho de hasta 2300 TN/H del material extraído por las minas Las Bambas, Antapaccay y Cerro Verde.

El proyecto portuario cuenta con dos grandes frentes de trabajo cada uno con infraestructura distinta, como lo requiere la naturaleza del proyecto, los cuales son denominados On shore y Off shore, mismos que pasaremos que se describir a continuación.

2.1.1. On shore:

Este frente de infraestructura se divide en 3 grandes circuitos correspondientes a cada empresa que operará en el puerto. También se desarrolla estructuras accesorias y facilidades para su operación, que se pueden observar con más detalle en el Plano 1.

- Para dar inicio al circuito, se tiene los edificios de recepción. En este caso nos enfocaremos en el edificio de recepción férrea de Cerro Verde, cuyo proceso constructivo de plataformado es el tema de la presente tesis. Las dimensiones de la plataforma son 480 metros de largo y 57 metros de ancho. Desde la derivación ferroviaria hacia los edificios de recepción se realizó una pendiente negativa de 2.5 %y 3 %, hasta obtener una pendiente de 0% en la plataforma. Dentro de esta configuración los últimos 155 metros de largo y 75.94 metros de ancho y de altura de 8.1 metros constituyen a las de la faja transportadora 1 y 5.

⁴ Odebrecht, Metodología Constructiva: TISUR 900102MST00010, 2014

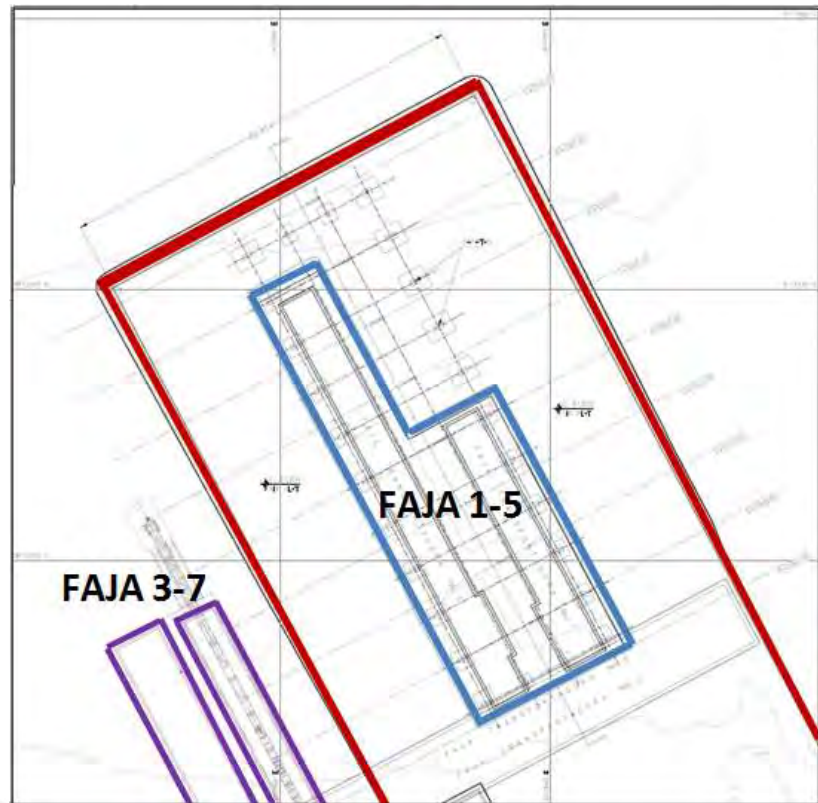


Imagen 2: Ubicación de la zona de trabajo

Fuente: Odebrecht modificada

-  FAJA TRANSPORTADORA 1-5
-  FAJA TRANSPORTADORA 3-7
-  ZONA DE PLATAFORMA A RELLENAR

Cabe resaltar que la presente tesis se desarrollará sobre el plataformado del edificio de recepción férrea Cerro Verde, como tramo de prueba, con lo que se proyectará para el relleno de túneles y, donde se analizará el impacto del cambio del terraplenado de relleno por un relleno de pedraplén

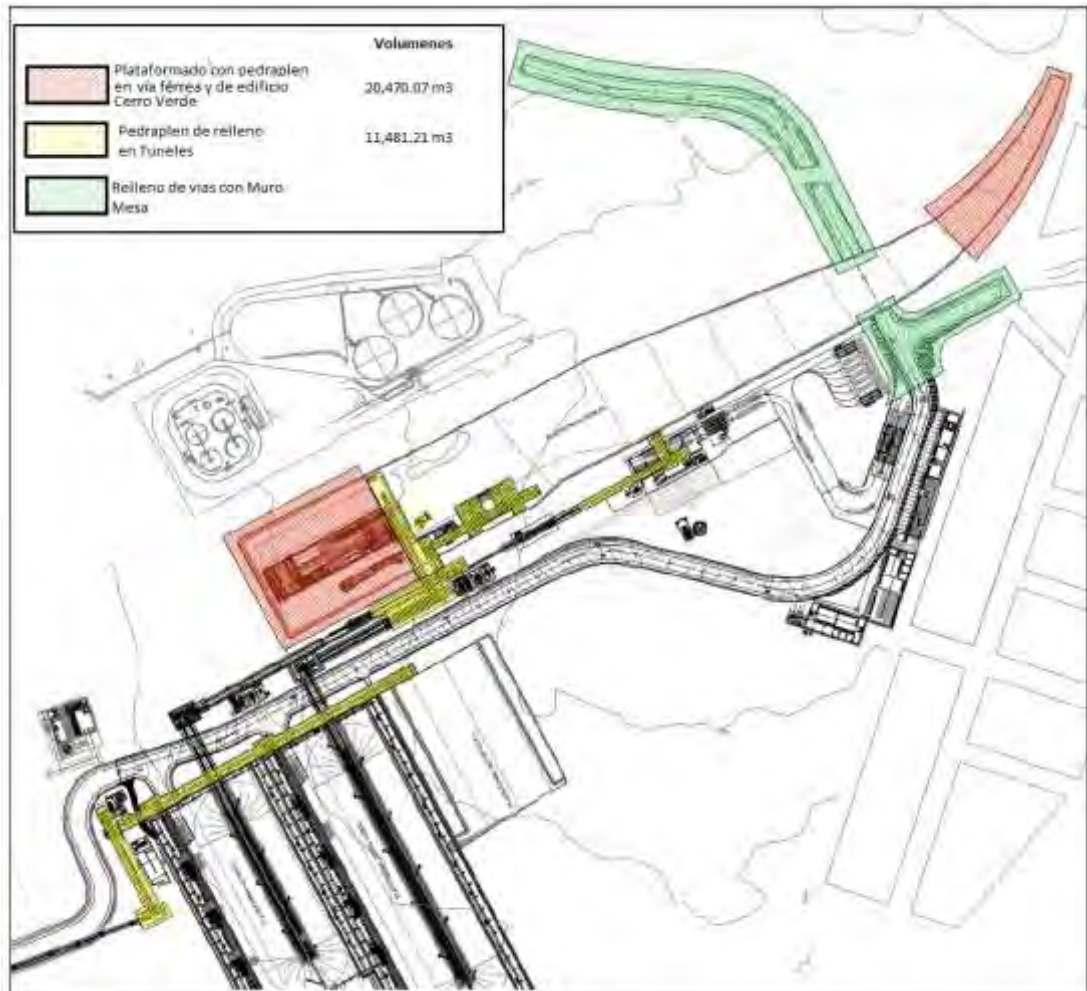


Imagen 3: Sectores de trabajo

Fuente: Odebrecht modificado

En las plataformas donde se instalarán rieles de 90lb/yard se colocará material de balasto en capas de 0.3 m debajo de la durmiente de concreto monoblock, mismos que deberán resistir los ataques químicos y orgánicos del suelo, así como del ambiente costero.

Es de precisar que la presente tesis no ahondará en describir o analizar el alcance de las vías de rieles realizado por la empresa PeruRail; sin embargo, se describen a continuación (ver tabla 1) sus características técnicas para su posterior utilización en análisis de modelamiento de carga.

Tabla 1 : Especificaciones de plataforma férrea.

Norma de Diseño	Manual for Railway Engineering (AREMA - 2010)
Carga Máxima por Eje	20Tn
Velocidad Máxima de Operación	15 km/h
Trocha Standard	1435 mm
Radio Mínimo curva horizontal	150 m
Radio mínimo curva vertical	2000 m
Pendiente Máxima	3%
Inclinación hileras de rieles	1:40
Distancia entre durmientes	600 mm
Tipo de Riel y Calidad	90 ARA-A
Fijación	Elástica E-Clip Pandrol
Juntas	Eclisas
Durmientes	Concreto Monoblock

Fuente: TISUR

- Luego, tenemos los túneles de recepción, los cuales se extienden desde la faja 1 a la 18, cada túnel se encargará de conectar la recepción férrea (almacenes de Cerro Verde y Las Bambas) o recepción camionera (almacén Antapaccay) y trasportar la carga a su respectivo almacén. Por otro lado, los túneles de embarque, los cuales se extienden desde la faja de embarque número 19 a la 21, los mismos que son alimentados desde su respectivo almacén. Por último, las fajas de puerto, que se extienden desde el puente de acceso hasta el muelle, las cuales a su vez se encuentran interconectadas con las fajas de embarque.
- En el proyecto se trabaja con 3 tipos de fajas transportadoras, como son las fajas tubulares, presentes en faja 12 y 21; las fajas Abarquilladas, presentes en la mayor cantidad de túneles de recepción; y las fajas tripper, presentes en torres de transferencia aérea y en el muelle.

- El almacén de Cerro Verde con capacidad de 150 000 toneladas. Presenta 1 colector de polvo centralizado y 5 chutes de descarga, cada uno de estos con un colector de polvo insertable.
- El almacén Las Bambas tiene capacidad de 100 000 toneladas. Presenta 1 colector de polvo centralizado y 3 chutes de descarga, cada uno de estos un colector de polvo insertable.
- El almacén Antapaccay tiene capacidad de 50 000 Toneladas. Presenta 1 colector de polvo centralizado y 2 chutes de descarga cada uno de estos con un colector de polvo centralizado y 2 chutes de descarga, cada uno de estos con un colector de polvo insertable.
- Todos los almacenes descritos líneas arriba presentan una zona de lavado de camiones.
- El proyecto Matarani cuenta con 2 puentes carreteros que usaron el sistema de “muro mesa”. El primero de ellos es el T-9, con una longitud de 12 metros; el segundo, el T10 con una longitud de 39 metros.
- Para la operación del puerto se construyeron facilidades las cuales son estructuras para la operación del puerto, cada almacén presenta sus facilidades propias, entre ellas tenemos:
 - Oficinas Administrativas y de control operacional.
 - Laboratorios.
 - Un tanque elevado de capacidad de 50 m³, el cual será alimentado por una cisterna de 78m³.
 - Una cisterna contra incendios de 325 m³.
 - Una planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR)⁵ la cual tiene la capacidad de tratar 15m³ de agua diarios.

⁵Planta de Tratamiento de Aguas residuales (PTAR): Estructura que se encarga del tratamiento de las aguas negras y residuales generados por el proceso industrial o doméstico.

2.1.2. Off shore:

- La parte off shore consta con un puente de acceso de longitud 170 metros y conformado por 26 pilotes. El muelle de 261 metros de longitud y 96 pilotes de 1.47 m de diámetro.
- El desarrollo de la parte off shore se da mediante el sistema de cantitravel, el cual usa 2 perforadoras que permiten el descenso de la camisa y malla del pilote vaciado in situ.
- El montaje del puerto se realizó con el procedimiento de uso de prefabricado, elaborados en obra, tanto para camisas, losas y defensas del puerto en la cual se adecuan los bolardos.
- Parte de su proceso constructivo era la colocación de estos prefabricados para luego realizar el vaciado de segunda etapa de las losas.

Finalmente, a fin de poder observar con más detalle la distribución de los elementos antes mencionados se puede revisar el anexo 1.

2.2. Estado del Arte:

El estudio en la rama portuaria es complejo debido a su naturaleza multidisciplinaria, su constante evolución y adaptación de los procedimientos constructivos en las diversas partes del globo. Es por ello que las “reglas de oro” en el diseño de puertos y trabajos de protección han sido reemplazados por una ingeniería más rigurosa en el estudio de corrientes, técnicas de mecánica de suelos y nuevos métodos y materiales de construcción⁶.

La ingeniería portuaria requiere múltiples servicios los cuales hacen imperativa la necesidad de una gran variedad de estructuras y superestructuras, a efectos de lograr abastecer los requerimientos y estándares actuales. “El avance tecnológico internacional ha determinado una reducción de costos del intercambio comercial ya sea logrando alcanzar una mayor utilización de contenedores para la carga o el

⁶ QUINN DE F, Alonso. “Design and Construction of Ports and Marine Structures. Editorial: McGraw-Hill. New York, 1961.

desarrollo de naves más grandes y más especializadas. El resultado de estos cambios ha sido que el sector portuario ha iniciado un proceso de rápida renovación de sus instalaciones para que estas respondan adecuadamente a la demanda por sus servicios”⁷.

Sin embargo, para poder alcanzar esta inversión en tecnología se debe trabajar desde la perspectiva contraria a la organización tradicional en el desarrollo de puertos que se encuentra arraigada en Latinoamérica. La organización tradicional está marcada por la administración exclusiva del Estado.

Es por ello, que se optó por realizar el estudio en el Puerto Matarani, el cual es un puerto concesionado al Terminal Internacional del Sur (TISUR) que es una empresa privada.

En el marco del desarrollo de iniciativa privada y su necesidad de ampliar el mercado, TISUR presentó el proyecto de ampliación del puerto de Matarani. Este fue el motivo que llevo a la celebración un contrato EPC + C con la empresa Odebrecht. Este modelo de contrato brindó la posibilidad de mejorar los procesos constructivos tanto del punto de vista económico como ingenieril.

La tesis se centrará en el desarrollo de plataformas de fajas transportadoras y el desarrollo de la tecnología de muro de tierra armada, cuya práctica ha sido combinada con la utilización de un relleno de pedraplén con el fin de reducir el uso de grandes cantidades de material de Terraplén.

Para ello se desarrollará el análisis del muro de tierra Armada siguiendo los parámetros de la American Association of State Highway and transportation Officials (AASHTO⁸); y también, The Federal Highway Administration (FHWA)⁹.

Estos son los parámetros usados por el proveedor Freyssinet para el desarrollo de los resultados del sistema de Tierra Armada, los cuales fueron modelados mediante el Software MSEW versión 3.0 AASHTO (ASD/LRFD) /FHWA/NCMA, por la empresa antes mencionada. Los parámetros descritos tuvieron que ser usados ante la inexistente normativa peruana para el desarrollo de muros de tierra armada.

⁷ALCAZAR, Lorena y LOVATON, Rodrigo. “La concesión de los puertos en el Perú: ¿Quién ganó y quién perdió con la concesión del puerto de Matarani?”. Editorial: Consorcio de Investigación Económica y Social. Lima, 2003.

⁸ AASHTO, L. R. F. D. Bridge design specifications. 2010.

⁹ FHWA. Design and Construction of Mechanically Stabilized Earth Walls and Reinforced Soil Slopes, 2009.

Para el desarrollo de un análisis del sistema de un muro de tierra armada se realizan análisis internos y externos los cuales se muestran en la tabla 2, que a continuación se presenta:

Tabla 2 : Análisis en tierra armada

Análisis Externo	<ul style="list-style-type: none">• Volteo.• Deslizamiento.• Capacidad Portante.
Análisis Interno	<ul style="list-style-type: none">• Falla por rotura.• Falla por arrancamiento o Pull out.

Fuente: Propia

Para los análisis del pedraplén se ha realizado los estudios de estabilidad mediante el estudio de refracción sísmica luego de su colocación, con el fin de evitar asentamientos no deseados.

3. CAPITULO 3: PROCEDIMIENTO Y METODOLOGÍAS CONSTRUCTIVAS

3.1. Proyecto inicial:

El proyecto inicial presentó ingeniería básica a la que se le implemento nuevos procedimientos y cambio de procesos constructivos en el desarrollo del proyecto. Esto se hizo posible debido al tipo de contrato EPC+C en donde la ingeniería de detalle estuvo a manos del contratista Odebrecht.

3.1.1. Estudios Iniciales:

3.1.1.1. Topografía Inicial:

El estudio topográfico del proyecto se ha desarrollado mediante el uso del GPS diferencial. Los trazos iniciales son muy básicos, solo se aprecia el posible trazado de las estructuras de almacenajes y túneles de recepción férrea delimitados por progresivas a modo de ejes. También, se cuenta con dos puntos que serán los BM T-6 y T-7, cuyas coordenadas se pueden apreciar en los planos 2 y 3.

En el desarrollo de los proyectos se inicia con escalas bastante grandes y con lo cual se delimita la ingeniería básica. En este caso como se puede ver en los planos antes mencionados, se tienen escalas del orden de 1:2000 y 1:1500.

3.1.1.2. Estudio de Olas:

Para el desarrollo de proyectos de naturaleza portuaria, el estudio de olas es relevante para poder definir el impacto de estas en las estructuras con las que entra en contacto. Si la obra está en contacto con aguas saladas, bien sea por inmersión o porque estar sometida a la acción directa de las olas o de sus salpicaduras, esta se verá afectada. En el estudio técnico realizado por BENTOS Servicios y Equipos Marinos¹⁰, se sigue la metodología de realizar 2 tomas: La primera, en el periodo de invierno en la cual se obtuvo los resultados de Máxima altura Significante de 2.59 m para olas de onda corta y una Máxima altura significativa de 0.38 m para ondas largas. La segunda toma se realizó en el periodo de verano, de la cual se obtuvo los

¹⁰ BENTOS Servicios y Equipos. "Estudios Marinos Terminal Marítimo Bahía Islay". Informe técnico de medición de oleaje direccional. TISUR, 2012.

resultados de Máxima altura Significante de 3.54 m para olas de onda corta y una Máxima altura significativa de 0.35 m para ondas largas.

Ahora bien, la estructura a rellenar se encuentra en una cota más elevada, siendo estas entre 25 a 40 m.s.n.m. Por lo cual, la altura máxima de la ola no generaría impedimentos, ni restricciones para los rellenos. Sin embargo, esta información sí sería relevante para el desarrollo del muelle del proyecto en cuanto al nivel a ejecutar el muelle y cantitravel.

Al no tener un contacto directo con las estructuras que desarrollaremos, las cargas de origen marino no serán consideradas en el desarrollo de evaluación de estabilidad y resistencia de los rellenos.

3.1.1.3. Estudio Sísmico:

Debido a la magnitud del proyecto Matarani, se requirió un estudio sísmico especializado adicional a la norma E030 del año 2003, vigente en la fecha de realización del proyecto. Por lo cual, se desarrolló un estudio probabilístico y determinístico con el fin de hallar las aceleraciones y el periodo de retorno de estos sismos, al igual que sus ecuaciones de recurrencia.

La responsable de emitir el estudio del cual se pudo obtener la información correspondiente para el desarrollo de las estructuras que constituyen el puerto Matarani fue la consultoría Jorge E. Alva Hurtado Ingenieros E.I.R.L.¹¹

Del análisis determinístico, se obtuvo que la mayor aceleración para la zona del Proyecto es de 0.58g, este valor será el Máximo sismo creíble, el cual se daría debido a un sismo de subducción interplaca profunda.

Para el análisis probabilístico se usaron las siguientes combinaciones de leyes de atenuación para el tipo de suelo tipo B, C y D, según los estudios especializados de Sadigh, Young y el CISMID¹². Cada uno de estos tipos de suelos se analizó con una combinación de Leyes de atenuación presentadas en la tabla siguiente para los periodos de retorno de 75, 100, 475, 1000, 2475,5000 y 10000 años.

¹¹ JORGE E. ALVA HURTADO INGENIEROS E.I.R.L. "Estudio de Peligro Sísmico para el terminal portuario de Matarani". Arequipa, 2013.

¹² CISMID: Centro Peruano Japonés de Investigaciones Sísmicas y Mitigación de Desastres.2006

Tabla 3 : Valores de Aceleración Máxima Horizontal Esperada

Leyes de Atenuación				Periodo de Retorno (años)						
Site Class	Sisma Continental	Sismo de Interfase	Sismo Intraplaca	75	100	475	1000	2475	5000	10000
B	Sadigh ¹³ et al (1997)	Youngs ¹⁴ et al (1997)	Youngs ¹⁵ et al (1997)	0.19	0.22	0.33	0.41	0.52	0.58	0.64
C		CISMID (2006)	CISMID (2006)	0.20	0.22	0.40	0.53	0.68	0.82	0.99
D		Youngs ¹⁶ et al (1997)	Youngs ¹⁷ et al (1997)	0.31	0.34	0.56	0.67	0.82	0.96	1.13

Fuente: (Jorge E. Alva Hurtado Ingenieros E.I.R.L, 2013)

Para el desarrollo de la respuesta de aceleraciones del sismo máximo de diseño (MDE- Maximum Design Earthquake) obtenido probabilísticamente se sigue el International Building Code (IBC) 2012 en el cual se estipula que el valor puede ser representado con el espectro de respuesta con 5% de amortiguamiento y de 2% la probabilidad de excedencia en 50 años de exposición sísmica, correspondiente a un periodo de 2475 años¹⁸; por lo que, según lo descrito en la tabla que el valor de la aceleración desde un punto de vista probabilístico será de 0.52g.

Por último, también se determinó la respuesta espectral para un sismo Básico de operación (OBE- Operating Basic Earthquake) obtenido probabilísticamente estará representado con el espectro de respuesta con 5% de amortiguamiento y de 10% de probabilidad de excedencia y 50 años de periodo de exposición sísmica, para el cual corresponde un periodo de retorno de 475 años; por lo que podemos afirmar que el valor de la aceleración Horizontal OBE será de 0.33 g.

¹³ SADIGH, K.; Chang, C.-Y.; Egan, J.A.; Makdisi, M y Youngs, R.R. (1997), "Attenuation Relationships for Shallow Crustal Earthquakes Based on California Strong Motion Data", Seismological Research Letters, BSSA, Volume 68, Number 1, January – February, 1997

¹⁴ YOUNGS, R.R.; Chiou S-J.; Silva, W. J. y Humphrey, J. R. (1997), "Strong Ground Motion Attenuation Relationships for Subduction Zone Earthquakes", Seismological Research Letters, BSSA, Volume 68, Number 1, January/February 1997.

¹⁵ Ibídem

¹⁶ Ibídem

¹⁷ Ibídem

¹⁸ Jorge E. Alva Hurtado Ingenieros E.I.R.L. "Estudio de Peligro Sísmico para el terminal portuario de Matarani" Arequipa. 2013

Luego, obtenidos los valores máximos y de operación, 0.52g y 0.33g respectivamente. Para el muro de tierra armada que por su naturaleza se podría clasificar en un tipo de suelo tipo A-B, y al ser considerada como una estructura con un periodo de vida de 50 años, la carga sísmica a la cual estaría sometida en su vida útil sería de 0.19 g según la tabla 3; sin embargo, este es mucho menor a la aceleración máxima de 0.58g del enfoque determinístico y que la 0.52g del enfoque probabilístico. Por ello, que en el diseño del muro de tierra armada se tomaría el valor de 0.4g¹⁹. g, ya que este valor era el valor mínimo establecido por la norma sismorresistente del año 2003 y a su vez supera el valor de la aceleración horizontal OBE de 0.3 g.

3.1.1.4. Estudio de refracción sísmica y MASW:

Este estudio²⁰ se realizó debido a la sospecha de posible existencia de cavernas subterráneas las cuales no se podrían detectar ante un análisis de campo con calicatas, puesto que este solo nos podría dar solo información sobre la capa superficial, y al ser el terreno rocoso podría tener una gran variabilidad en sus características respecto a su profundidad.

Es por ello que se colocaron 11 líneas de refracción sísmica con longitud de 780 m y 11 ensayos MASW con una longitud de 583 metros. Luego, se realizaron los ensayos con el GEO-RADAR en 20 secciones de distintas longitudes con el fin de analizar profundidades de 20 metros, midiendo la propagación de ondas.

También, se realizó los Sondajes Eléctrico Vertical (SEV) en 4 zonas puntuales, utilizando una configuración Wenner, lo que permitió analizar hasta profundidades de 20 metros, este ensayo consiste en analizar la variación de resistividad del subsuelo en la profundidad.

El ensayo tuvo como resultado que el macizo rocoso está conformado por roca tipo Gneis de origen metamórfico y con la característica de ser una roca fracturada. Este tipo de roca y condiciones son pertenecientes al material geológico que se encuentran en el Bloque Atico – Mollendo – Tacna, como se puede apreciar en la siguiente imagen tomada del mapa del Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico (INGEMMET).

¹⁹ E.30 Diseño Sismoterrestres. Ministerio de Vivienda y Construcción, 2003.

²⁰ Estudio de refracción sísmica y multichannel analysis of surface wave (MASW), son sísmicos en los cuales se estudia la velocidad de propagación, así como el tipo de ondas empleados

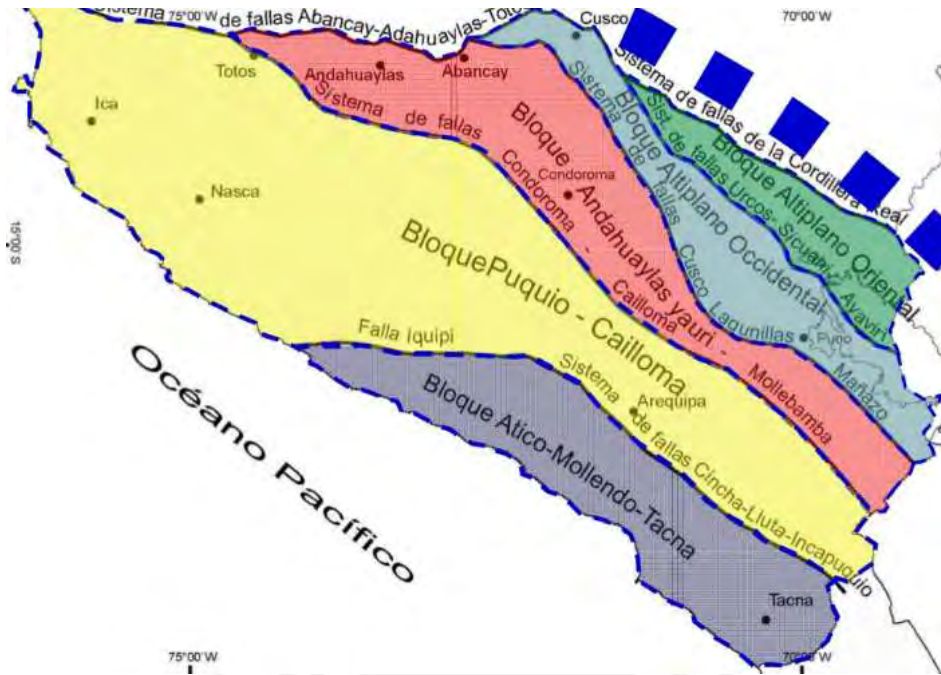


Imagen 4: Bloques geológicos de la ciudad de Arequipa

Fuente: Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico (INGEMMET).

3.1.2. Terraplenado

El desarrollo de uso de terraplenes está presente en la construcción de carreteras, vías, estabilidad de taludes y de vías férreas. Esto se puede apreciar en la gran cantidad de puertos a lo largo del globo como el puerto de Amberes (Bélgica), el puerto de Alicante (España), entre otros; en donde se ha aplicado esta opción constructiva.

Inicialmente, el proyecto estaba concebido con conformación de plataformas de terraplén, las cuales serían bordeadas por bloques de gaviones. Si bien esta opción inicial fue sugerida por el cliente, no se desarrolló una ingeniería de detalle para este proceso constructivo, puesto que la función del gavión fue abarcada por el muro de Tierra Armada en el desarrollo inicial del proyecto.

Para el desarrollo de terraplenes se desarrolló la siguiente metodología descrita a continuación:

Primero, se debe realizar un desbroce de la zona con el fin de evitar contaminación de las capas por material orgánico.

Segundo, se debe habilitar las vías en las cuales se podrá realizar la descarga del material granular, así como de puntos de acopio.

Tercero, se deberá delimitar la zona de trabajo con la ayuda de un levantamiento topográfico para la conformación de la base. Además, el control topográfico deberá liberar los frentes de trabajo de los equipos.

Cuarto, para el tendido de material se usará una motoniveladora para esparcir el material.

Quinto, se humedecerá el material con el fin de mantener la humedad necesaria. El control de humedad en este proceso es crítico. El contenido de la humedad en las capas debe ser cercanas a la óptima, permitiendo a lo más entre un 2% por debajo y sobre este nivel de acuerdo con el ensayo de Proctor modificado de la norma ASTM D 1557.

Sexto, luego con un rodillo compactador se deberá conformar capas de 0.3 metros.

Séptimo, se debe aplicar un control de calidad realizando un ensayo de Proctor modificado. Si la humedad es mayor se deberá escarificar la capa y dejar secar; si este procedimiento no funciona se deberá retirar la capa. Por otro lado, si la humedad es menor a la requerida, se deberá realizar riegos extra hasta que el material alcance la humedad requerida.

Octavo, se realizará la compactación de la capa superior también llamada capa de coronación.

Por otro lado, es pertinente señalar que es común usar el sistema de gaviones con el fin de evitar erosiones en los costados del terraplén, así como con el fin de aportar estabilidad al mismo. Los gaviones consisten en rocas contenidas por una malla de acero galvanizado.

3.2. Proyecto Aplicado

3.2.1. Condiciones Reales.

3.2.1.1. Diseño de muro de tierra Armada e interfaz con suelo reforzado

Para el diseño y estudio del comportamiento de un muro de tierra armada primero se necesita parámetros iniciales del suelo, control del material de relleno a usar procedente de la cantera Maconsa, así como de las cargas aplicadas para el proceso de diseño. Estos valores son presentados en la siguiente ilustración y sus propiedades son descritas en la tabla 4. Asimismo, en el anexo 2 se puede observar con más detalle los valores.

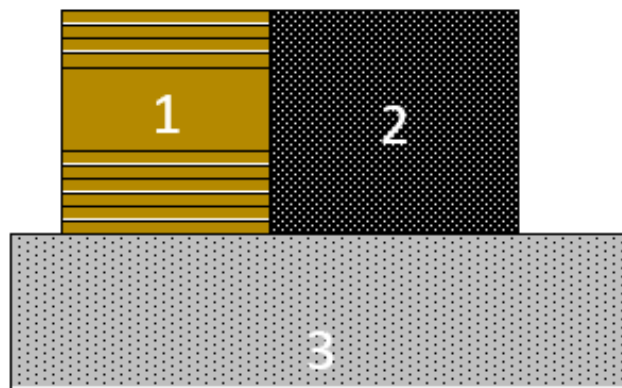


Imagen 5: Esquema de parámetros Geotécnicos
Fuente: Elaboración propia

Tabla 4: Propiedades

Material	Tipo de Material	Peso específico (γ) (kN/m ³)	Ángulo de Fricción Efectiva ϕ' (°)	Cohesión Efectiva c' (kN/m ²)
1	Relleno Estructural	20	29	0
2	Suelo Retenido	20	29	0
3	Terreno de Fundación	24	38	10

Fuente: Elaboración propia

Para los metrados de carga, se tomarán las fuerzas de empuje vertical y horizontal generadas por el terreno. Las cargas verticales son tránsito, cargas sísmicas y de las zapatas del edificio de recepción férrea que van sobre el muro de tierra armada, estas últimas pueden ser apreciadas con mayor detalle en el Plano 7.

Para las cargas de empuje vertical se usará la siguiente fórmula:

$$EV = \gamma_1 * H * B \quad (1)$$

Donde:

- γ_1 : Peso del Relleno estructural.
- H: Altura del muro.
- B: Ancho del muro.

Por otro lado, para la carga de empuje horizontal, esta se establece mediante la ecuación de la cuña de Coulomb:

$$EH = \frac{1}{2} * K_a * \gamma_2 * H^2 \quad (2)$$

Además:

$$K_a = \tan^2(45^\circ - \phi_r/2) \quad (3)$$

Donde:

- ϕ_r : Ángulo de fricción efectiva del material retenido.
- K_a : Coeficiente de empuje activo del relleno retenido.
- γ_2 : Peso unitario del relleno retenido.
- H = Altura de muro.

Para el desarrollo de las sobre cargas estos datos fueron suministrado por la empresa Odebrecht²¹ y cuyo resumen se presenta en la siguiente tabla:

Tabla 5: Metrado de cargas de Diseño

Carga	Tipo	Magnitud	Unidad
P1	Puntual Muerta	14.49	Ton
P2	Puntual Viva	35.58	Ton
P3	Puntual Muerta	14.61	Ton
P4	Puntual Viva	15.21	Ton
P5	Distribuida	1.5	Ton/m ²
P6	Distribuida	5.5	Ton/m ²

Fuente: Odebrecht

Donde:

- P1: Carga muerta en Zapata externa –Ejes 1.1/A.
- P2: Carga viva en zapata externa –Ejes 1.1/A.
- P3: Carga muerta en Zapata externa – Eje 1.1/D.
- P4: Carga viva en zapata extrema – Eje 1.1/D.
- P5: S/C Distribuida por temas constructivos.
- P6: S/C Distribuida producida por el tren UIC71.

Como último metrado se tendrá el de las cargas sísmicas (EQ) para la cual se usará una aceleración máxima de 0.4 g debido a los requisitos del proyecto Matarani. Para los análisis utilizados de estabilidad pseudoestática, para muros y taludes se usará el 0.5 de la aceleración máxima del terreno (PGA). Por lo cual siguiendo la AASHTO 2010 para el análisis de la estabilidad del muro de tierra armada se usará el coeficiente de aceleración sísmica (A) será el valor de 0.2.

Por último, para el desarrollo de los análisis siguiendo la norma AASHTO 2010 tiene que incorporarse para el análisis externo bajo cargas sísmicas nos exige una fuerza horizontal PIR debido a la inercia de la porción de masa del suelo reforzado al igual

²¹ODEBRECHT. "TISUR 140 041 CAL 30001 REV.2". Proyecto Matarani, 2014.

que una fuerza del 50 por ciento del empuje dinámico PAE, como se aprecia en la siguiente figura:

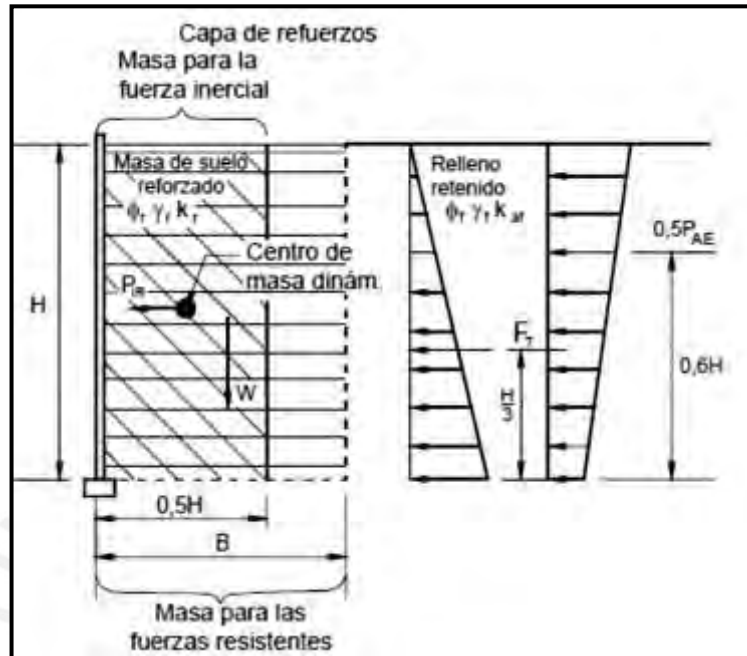


Imagen 6: Distribución de cargas para análisis Externo

Fuente: AASHTO LRDF 2010

Dónde:

- $PIR = 0.5 * \gamma_{EQ} * A_m * g * \gamma_s * H^3$
- PIR = Fuerza inercial provocada por la aceleración del relleno reforzado
- γ_{EQ} = Factor de carga para las cargas EQ.
- A_m = Máximo coeficiente de aceleración del muro en el baricentro (adimensional)
- γ_s = Densidad del suelo (kg/m³)
- g = aceleración de la gravedad (m/sec²)
- H = Altura Muro de Tierra Armada

3.2.1.1.1. Estabilidad Externa:

Para el Análisis de estabilidad externa, el muro de tierra armada es considerado como un bloque macizo (rígido). El cual se analiza siguiendo la AASHTO LRFD 2010

mediante los siguientes posibles fenómenos de ocurrencia en el muro en sí como se aprecia en la figura siguiente:

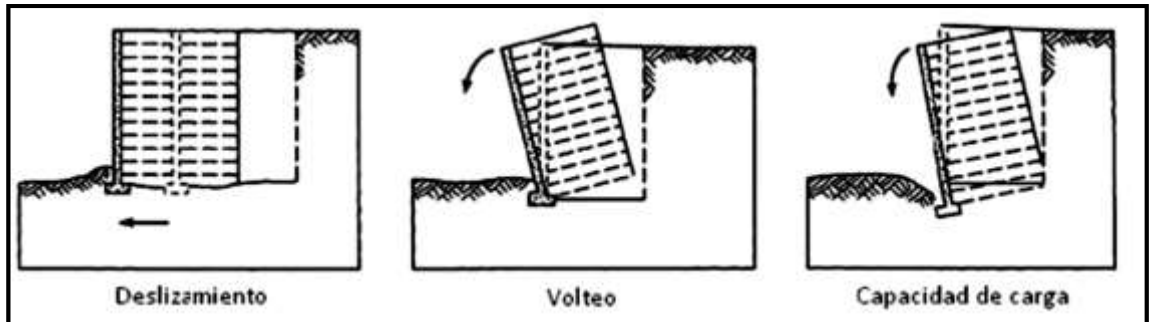


Imagen 7: Modos de Falla a analizar en la estabilidad interna

Fuente: AASHTO LRFD 2010

Para estos 3 análisis se debe comprobar que las fuerzas y momentos solicitantes no superen a las fuerzas y valores resistentes. Por lo que, el valor de CDR debe ser mayor a 1 para que se cumpla lo anteriormente propuesto. Por otro lado, también se debe verificar la excentricidad de la base, la cual se verifica para cuando se cumple $e/B \leq 0.25$ para condiciones estáticas y $e/B \leq 0.4$ para condiciones pseudoestáticas.

3.2.1.1.2. Estabilidad Interna:

Para el estudio de las fuerzas internas se analiza los dos principales efectos de falla. El primero de ellos es la falla por arranque (pull out), este fenómeno se da cuando las tensiones en los refuerzos superan a la adherencia relleno – refuerzo. Por lo cual, el refuerzo desliza y sale del bloque. El segundo de ellos es el efecto de rotura, que se da cuando las fuerzas internas del macizo son tan grandes que el refuerzo se estira en demasía y se rompe. Es con este análisis que obtenemos como resultado la longitud de refuerzo en cada capa las cuales la podemos apreciar en los planos del 8 al 10.

Una consideración importante a la hora del análisis de estabilidad interna es el de considerar la sobrecarga de tránsito, ocasionadas por las vías férreas, en la parte superior del macizo y en la posterior de este para el análisis de ruptura. En cambio, para el efecto de pull out solo se debe tomar en consideración la carga que está detrás del macizo con el fin de obtener una condición más desfavorable.

Para el fenómeno de rotura se debe analizar las cargas de tensión actuantes en cada refuerzo (Geostrip® 5) el cual es considerado para el cálculo como del tipo inextensible²². Siguiendo las Recomendaciones de la AASHTO, se usará el “Simplified method” para evaluar el esfuerzo horizontal ejercido en el refuerzo a cada nivel. Asimismo, el cálculo de la estabilidad para refuerzos tipo inextensibles estará regido por la siguiente gráfica:

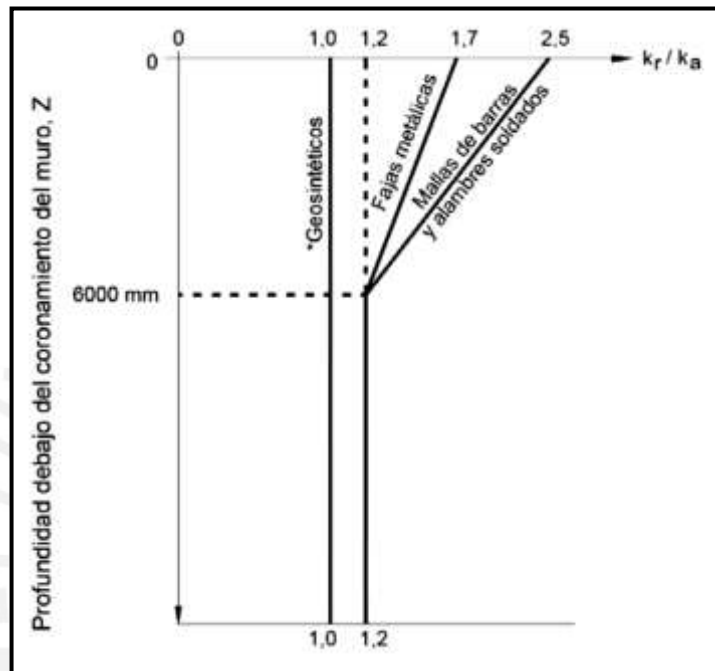


Imagen 8: Coeficientes de empuje horizontal al interior del macizo de Tierra Armada

Fuente: ASSHTO “Simplified Method”

La máxima tensión en cada nivel de refuerzo separa el material en 2 zonas: La primera es la zona activa; y la segunda, la zona pasiva. Las tensiones generadas en la zona activa, debido a las masas del suelo, son transferidas a la zona pasiva en la cual esta tensión deberá ser menor a la fuerza generada por el roce del refuerzo con el suelo.

La siguiente imagen muestra las zonas activas y pasivas del muro de tierra armada.

²² ODEBRECHT. “Metodología Constructiva: TISUR 900102MST00010”. Proyecto Matarani, 2014.

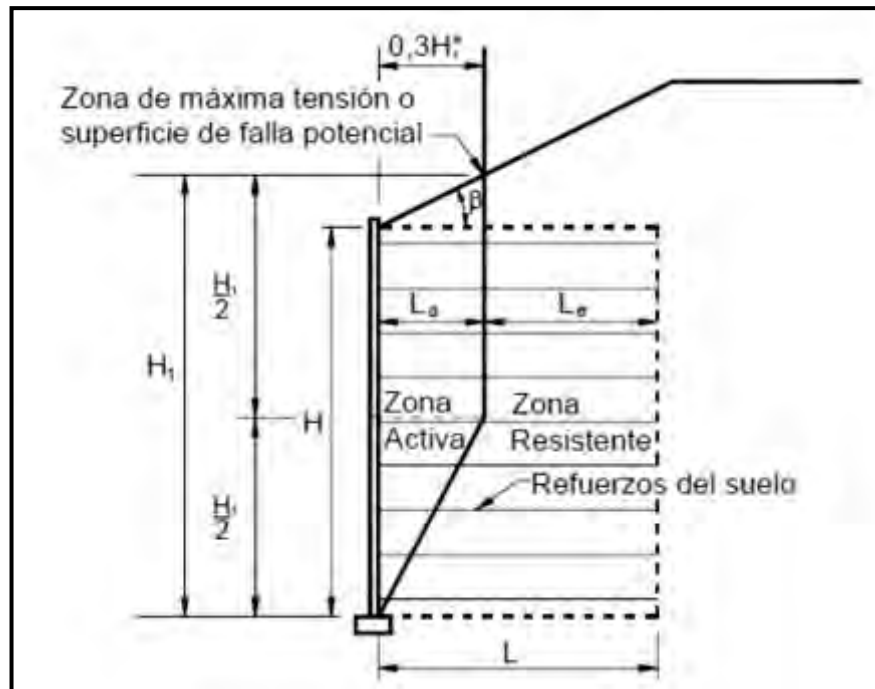


Imagen 9: Línea de tensión máxima

Fuente: AASHTO LRDF

Los resultados de los análisis realizados por la empresa Freyssinet nos brindaron los siguientes resultados:

Tabla 6 : Resultados de Análisis Externo

Zona/ Sector	Descripción	Desniv el H (m)	Base B (m)	Condición Pseudo Estática*			
				CDR Deslizamiento	CDR Volteo	Excentricidad ($e/B \leq 0.25$)	Presiones en la Fundación (kPa)
Muro Frontal	Muro 1	8.1	6.5	1.03	1.82	0.2715	320.03
	Muro 2	7.35	6	1.03	1.83	0.2688	292.46
Muro Lateral Izquierdo	Muro 1	8.1	6.5	1.00	1.76	0.2842	341.1
	Muro 2	7.35	6	1.01	1.8	0.2773	303.5
	Muro 3	5.85	5.5	1.16	2.37	0.2111	214.93
	Muro 4	4.5	5	1.85	4.7	0.0854	156.39
Muro Lateral Derecho	Muro 1	6.6	5.5	1.01	1.82	0.2748	270.41
	Muro 2	4.5	5	1.31	3.13	0.1596	146.34
	Muro 3	3.6	4.5	1.44	3.87	0.1292	114.62
	Muro 4	2.85	4	1.58	4.73	0.1057	91.4

Fuente: Estudio Realizado por Freyssinet

3.2.1.1.3. Análisis de estabilidad de Bishop

Por otro lado, también se realizó el estudio de Bishop para analizar la estabilidad al usar el pedraplén en vez del terraplén. Para ello se usó un análisis de Bishop con el cual podríamos analizar el comportamiento que se tiene en terrenos no uniformes. Este análisis fue realizado también por Freyssinet, y se concluyó que un factor de seguridad mínimo es de 1.5 para análisis estáticos y para análisis pseudo estáticos el valor aceptable es de 1.125.

El factor de seguridad se encarga de cuantificar la relación de condiciones del muro o talud con la falla de este.

Se analizó para un caso de cimentación y otro para el caso de un tren UIC71. El detalle de los resultados se presenta a continuación en las tablas 7 y 8, mismas que deben ser leídas conjuntamente con las imágenes 10,11, 12 y 13.

Tabla 7: Resultado de análisis de Bishop

Sección	Factor de Seguridad	
	Estabilidad Global (Análisis Estático)	Estabilidad Global (Análisis Pseudo Estático)
H=8.1	1.55	1.18

Fuente: Freyssinet

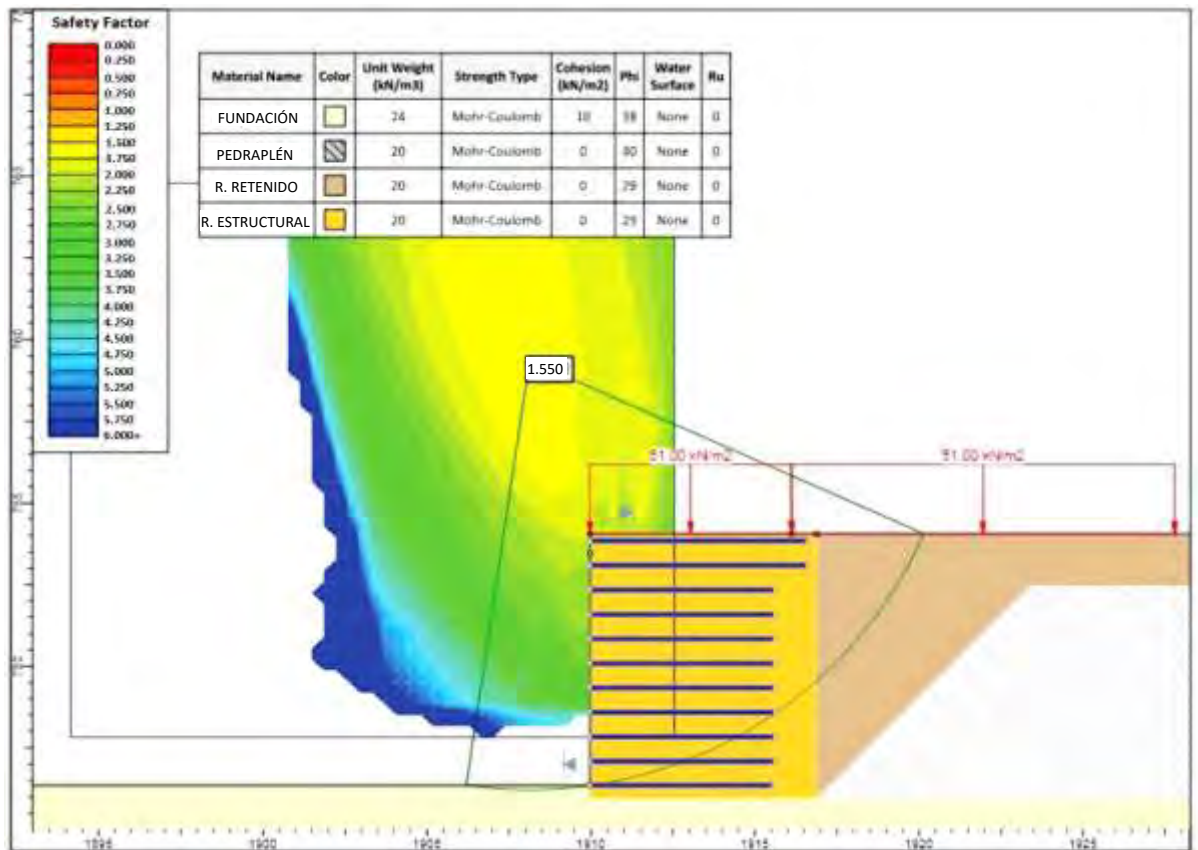


Imagen 10: Análisis de Estabilidad Global Estático -cimentación

Fuente: Freyssinet

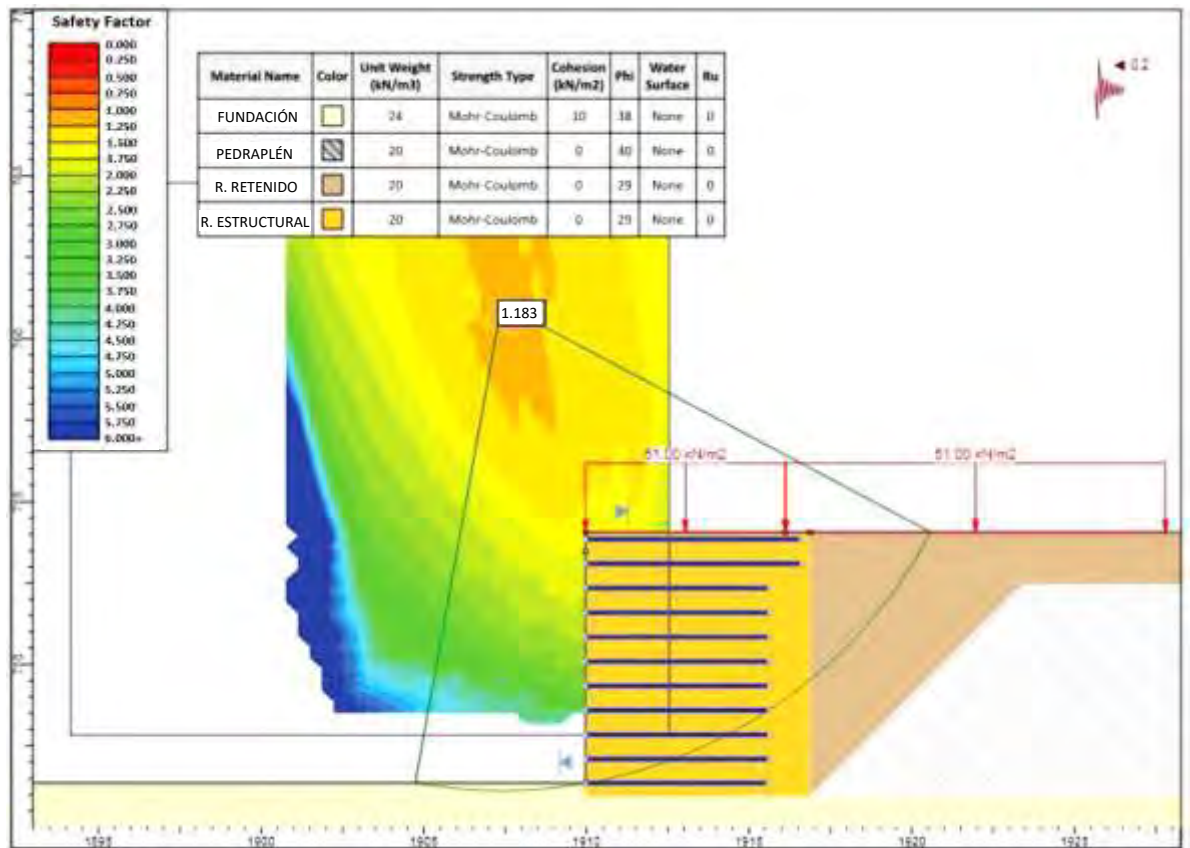


Imagen 11: Estabilidad Global Pseudo Estático -cimentación

Fuente: Freyssinet

Tabla 8: Caso tren UIC71

Sección	Factor de Seguridad	
	Estabilidad Global (Análisis Estático)	Estabilidad Global (Análisis Pseudo Estático)
H=8.1	1.7	1.22

Fuente: Freyssinet

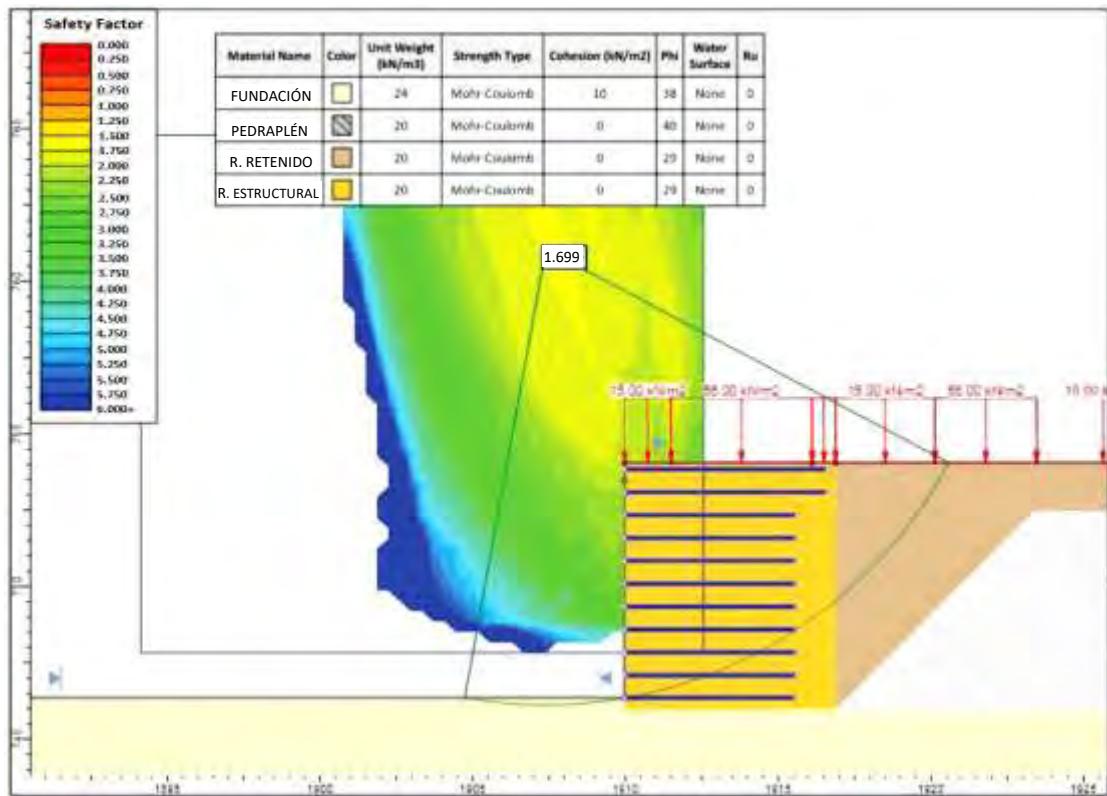


Imagen 12: Análisis de Estabilidad global estático en TrenUIC71

Fuente: Freyssinet

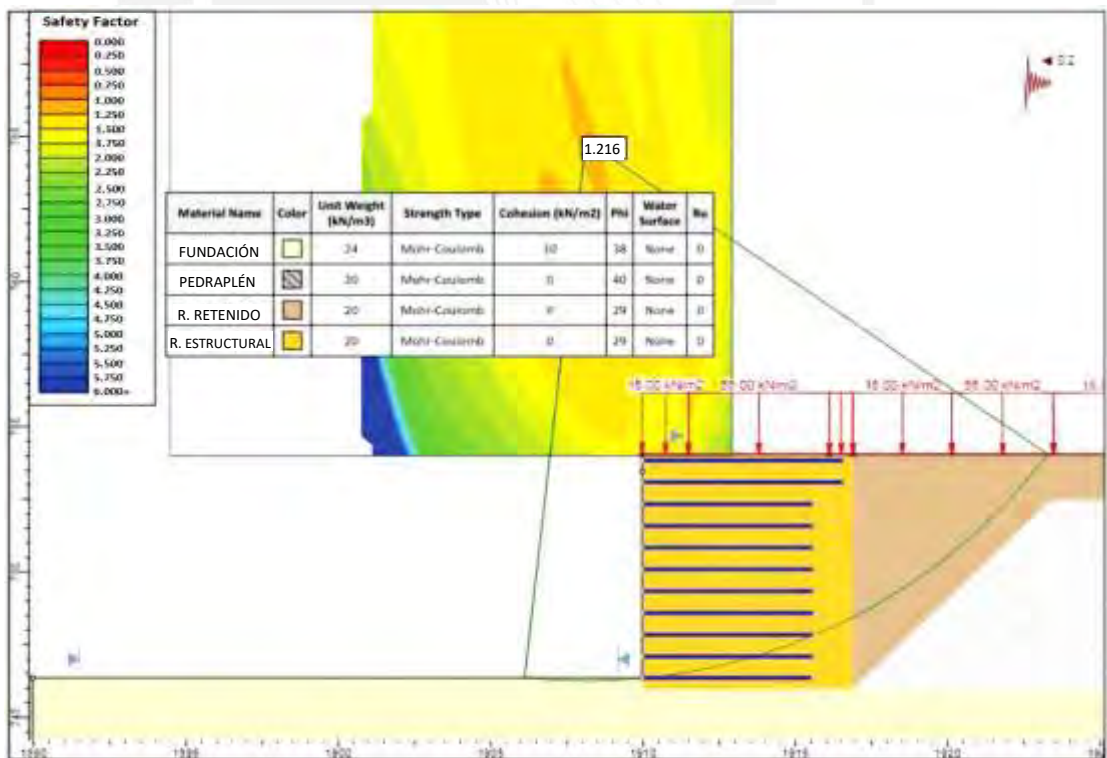


Imagen 13: Análisis de Estabilidad Global Pseudo Estático de tren UIC71

Fuente: Freyssinet

3.2.1.2. Análisis de refracción sísmica, MASW- MAM:

Si bien se realizó un análisis de refracción sísmica anteriormente, este se realizó para determinar las condiciones naturales del terreno. En esta ocasión, el análisis se desarrolló en la misma plataforma luego de ser consolidada con los objetivos de corroborar el asentamiento del material de pedraplén, evitar asentamientos y fallas del sistema con el muro de tierra armada. Estos ensayos fueron desarrollados por la consultoría Sotelo y Asociados²³.

En el ensayo de MASW y MAM siguió la distribución de IBC²⁴ para la clasificación de los suelos (A, B, C, D, E). Este ensayo se realizó en la plataforma ya construida de recepción férrea y se realizaron dos tomas de datos cuyos resultados presentamos a continuación:

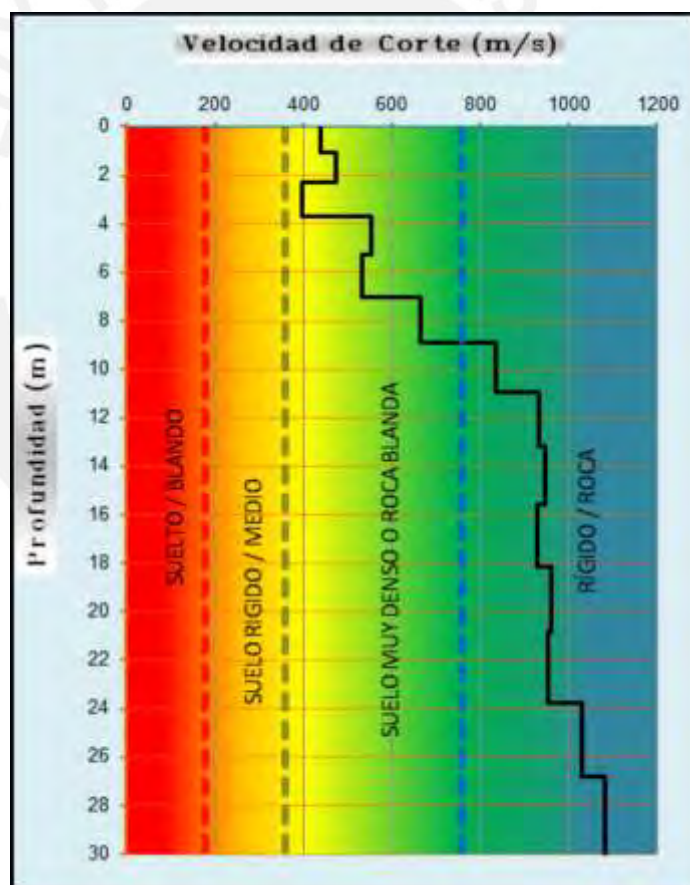


Imagen 14: Velocidades de corte calculadas a partir de MASW-MAM 01

Fuente: Sotelo y asociados

²³ Sotelo y Asociados. "Informe Geofísico Proyecto Matarani" Arequipa 2015.

²⁴ INTERNATIONAL BUILDING CODE, por sus siglas en inglés para denominar el "Código Internacional de la Construcción".

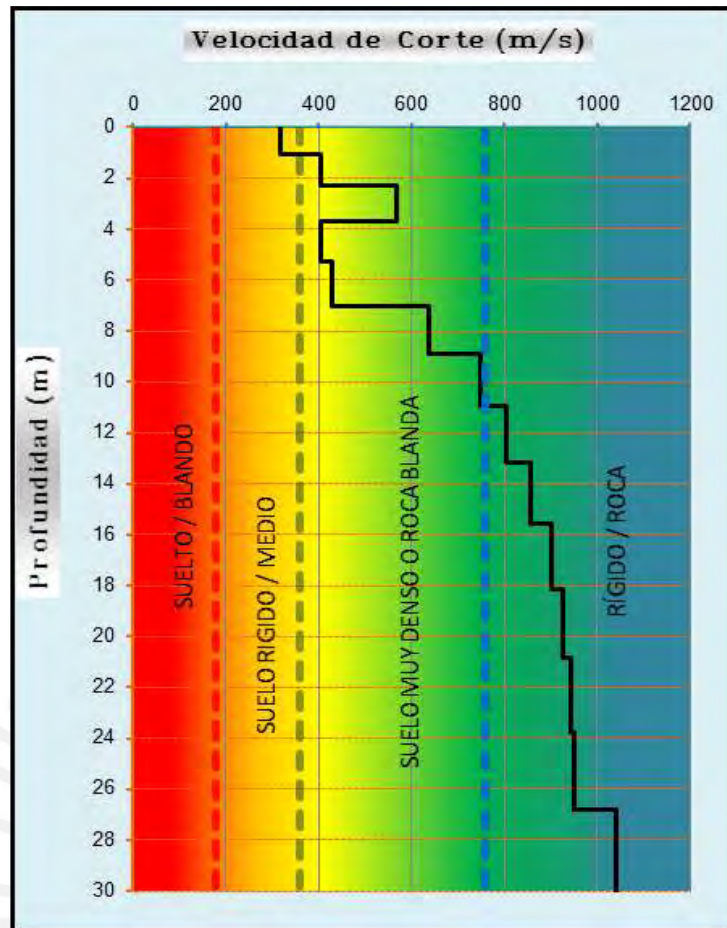


Imagen 15: Velocidades de corte calculadas a partir de MASW-MAM 2

Fuente: Sotelo y asociados

Como se puede apreciar en las gráficas anteriores el pedraplén se encuentra en los rangos de denso a muy denso.

Por otro lado, se realizó los siguientes ensayos de refracción sísmica los cuales se dieron a través de los perfiles presentados a continuación:

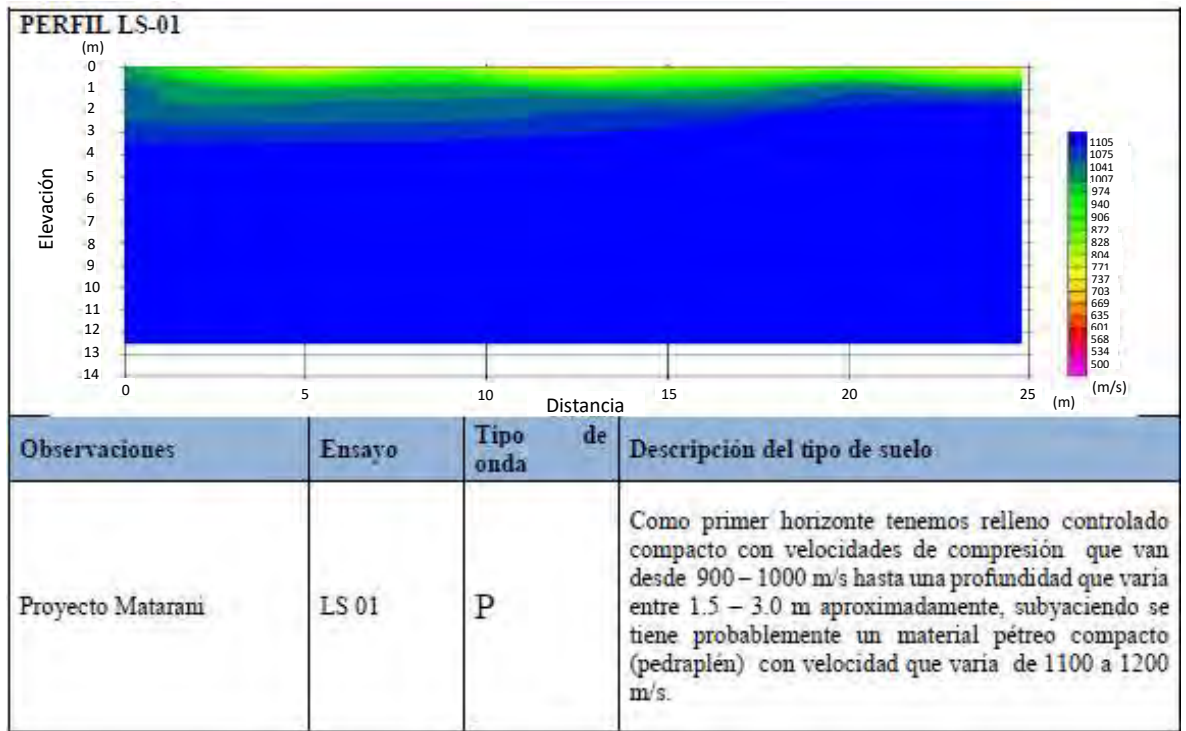


Imagen 16: Perfil LS- 01

Fuente: Sotelo y asociados

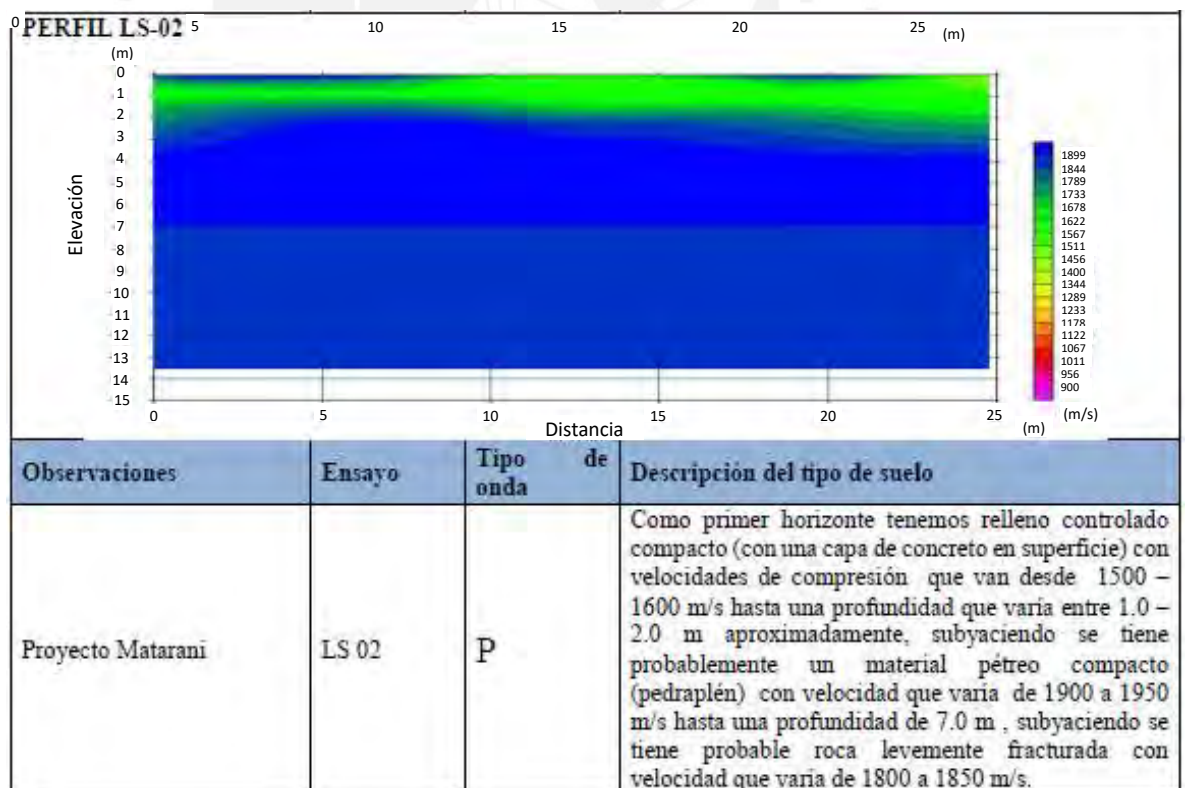


Imagen 17: Perfil LS- 02

Fuente: Sotelo y asociados

3.2.2. Proceso constructivo del Pedraplén

Para el desarrollo de este procedimiento constructivo se realizará un relleno con rocas, distribuidos por capas de acomodadas hasta alcanzar la estabilidad; es decir, un asentamiento dentro de las tolerancias. Para el tramo de coronación se verterá un material de suelo, el cual será compactado. Dependiendo de la necesidad, se bordeará este con un sistema de suelo reforzado, esto lo podemos apreciar en la realización del tramo de prueba, el cual analizamos en la presente tesis. La distribución del pedraplén, estructura y suelo reforzado la podremos apreciar en los planos 5 y 13. A continuación, se procederá a desarrollar los siguientes procedimientos:

3.2.2.1. Selección de Material de Zaranda

Para la selección de los bolones de roca a utilizar en el pedraplén, se diseñó una zaranda metálica de dimensiones totales de 6.5 metros x 5 metros con aberturas de cuadrículas de 15" x 15 con un ángulo de 25°. La estructura metálica de soporte presentaba dimensiones de 8" de peralte soportada sobre un cimiento de concreto armado. Debido al uso de material granular proyectado, se estableció un mantenimiento cada 15,000 m³ de material producido.



Imagen 18: Selección de material de Pedraplén mediante Zaranda

Fuente: Odebrecht

El material habilitado por esta zaranda presenta la siguiente granulometría, la cual será comparada con la Curva granulométrica de la normativa PG-3 (España)²⁵, para la conformación del pedraplén. Asimismo, siguiendo esta normativa se analizará la abrasión de la roca de este material, mediante los análisis granulométricos presentados a continuación:

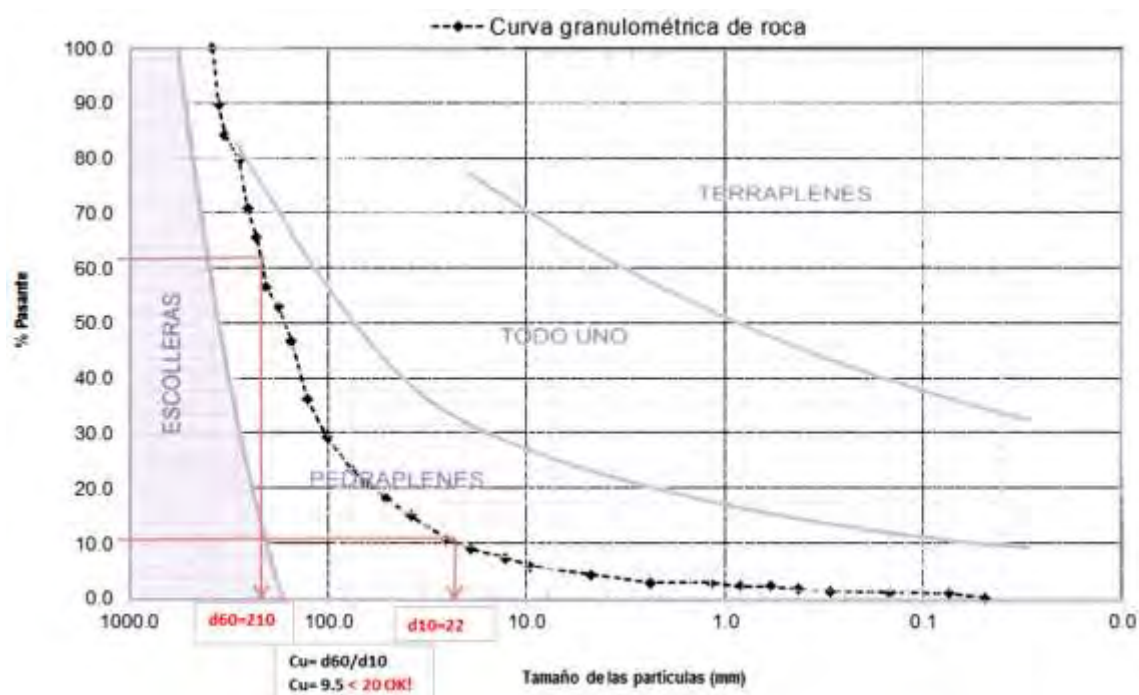


Imagen 19: Granulometría de la roca obtenida del terreno

Fuente: ODEBRECHT

La gráfica anterior cumple con los porcentajes de tamiz, los cuales son mostrados en la siguiente tabla:

Tabla 9 : Porcentajes especificados por PG-3:

Tamiz (mm)	Porcentaje que pasa
220	50-100
55	25-50
14	12,5-25,1

Fuente: Bustos²⁶

²⁵ Ministerio de Fomento. "Pliego de Prescripciones Técnicas Generales para obras de carreteras y puentes(PG-3)". España, 2013.

²⁶ BUSTOS, G. "Pliego de prescripciones técnicas generales para obras de carreteras y puentes" Editorial: Liteam. España., 2002

Se cumplió con los requisitos especificados en la norma del ensayo requerida por el MTC-E-207²⁷(Ministerio de transportes y comunicaciones, 2013), la cual especifica que el material usado en la construcción de un pedraplén debe presentar un desgaste menor que el del 30 % para que pueda ser colocado, como se aprecia a continuación en la figura:



UNIVERSIDAD CATOLICA DE SANTA MARIA
PROGRAMA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL
LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y CONCRETO

RESISTENCIA AL DESGASTE POR ABRASION DEL AGREGADO GRUESO DE TAMAÑO GRANDE
MAQUINA DE LOS ANGELES
(NORMA ASTM C-535)
(N.T.P. 400.020)

SOLICITA : DOEBRECHT PERU INGENIERIA Y CONSTRUCCION S.A.S.
 PROYECTO : PROYECTO MATARAN
 UBICACION : MATARAN - ISLAY - AREQUIPA
 FECHA : 10 DE DICIEMBRE DEL 2014

MUESTRA : MATERIAL PARA PEDRAPLEN
 PROCEDENCIA : MATERIAL PROPIO

EXPEDIENTE N° : 01399-041-LS-14

TAMICES ASTM		PESOS DE MUESTRAS DE ENSAYO (g)		
PARANTE	RETENIDO	Gradación "E" 12 ESFERAS	Gradación "F" 12 ESFERAS	Gradación "G" 12 ESFERAS
3"	2 1/2"	2500.2	-	-
2 1/2"	2"	2800.2	-	-
2"	1 1/2"	5000.0	-	-
1 1/2"	3/4"	-	-	-
1"	3/4"	-	-	-
Peso Total		10000.4	-	-
Peso Retenido Tamiz N°12		7502.5	-	-
Peso Pasante Tamiz N°12		2507.9	-	-
% DE DESGASTE		21,0%	-	-

21 % < 30% Ok

ESPECIFICACIONES TECNICAS : - Velocidad de Rotación Máxima de los Angeles : 33 rpm
 - N° de revoluciones : 1000

OBSERVACIONES : - La muestra fue proporcionada e identificada por el solicitante



Director del Laboratorio de Suelos y Concreto



Ingeniero de Proyecto

Imagen 20: Ensayo de Abrasión en Máquina de los Ángeles

Fuente: Universidad Católica Santa María de Arequipa (Ver anexo 3)

²⁷ Ministerio de Transportes y Comunicaciones. "Especificaciones Técnicas Generales para Construcción" Lima, 2013.

3.2.2.2. Ejecución de un tramo de prueba

El tramo de prueba fue realizado con el fin de analizar algunos parámetros constructivos, a efectos de buscar el procedimiento más idóneo para la selección de equipo, el número de pasadas y de esta manera obtener el acomodo y asentamiento del material. Esta data será la que nos permitirá generar la información pertinente para proyectar esta, al relleno de las demás fajas transportadoras. Este tramo de prueba cabe resaltar, se ha evaluado condiciones más adversas sobre el material de relleno puesto que se evaluará la influencia de las cargas generadas por las columnas del edificio de recepción férrea.

En este tramo, la roca era transportada por volquetes de 15 metros cúbicos de capacidad hasta la zona de prueba siendo esparcido y extendido por un tractor del tipo D8T. Posteriormente, fueron tomadas las mediciones de los asentamientos por pasada hasta que estos estuvieran dentro de la tolerancia especificada de $\pm 2\text{cm}$.

Así, se obtuvo el siguiente procedimiento:

- Primero, de acuerdo con la ingeniería, los rellenos de roca deberán conformarse en capas de 80 centímetros hasta alcanzar el nivel deseado.
- Segundo, para lograr la estabilidad de la roca de esta cantera se tiene que realizar 6 ciclos pasadas de tractor, las cuales deben ser 3 longitudinales y 3 transversales. Estas pasadas deben realizarse con el tractor a una velocidad de 6km/h.
- Tercero, Medición de asentamientos. (Ver Anexo4).

3.2.2.3. Ejecución en confrontación de túnel de Recepción:

Para la colocación en los túneles de recepción se añade al procedimiento anteriormente explicado se coloca geotextil II en su conformación cada 50 centímetros, como se puede apreciar en la imagen 21, esto se realiza con el fin de evitar socavación y las posibles filtraciones que puedan afectar a la estructura. La distribución de la colocación del geotextil en la interfaz con el muro de terramesh se puede apreciar en las secciones de los planos 11,12 y en la siguiente figura:

3.2.3. Proceso constructivo de Tierra Armada

Este punto está desarrollado por el estudio de campo, así como el procedimiento constructivo aprobado por la empresa constructora²⁸ y se puede apreciar gráficamente en el anexo 4, mismo que desarrollaremos a continuación.

3.2.3.1. Excavación de subsuelo

Para realizar el trabajo de compactación y conformación del muro de tierra armada, se inició con el trazado topográfico de la zona donde se colocarían las soleras para poder iniciar el muro. Para ello se tuvo en cuenta las siguientes tolerancias en la topografía:

- La triangulación de puntos de apoyo, replanteo de puntos secundarios o poligonales tendrán ± 10 segundos centesimales.
- Los ejes en planta que definen partes de la obra se ubicarán a ± 1.0 (cm) al eje teórico.

En ese sentido, siguiendo estos parámetros topográficos se delimitó el área de trabajo;(el resultado de este levantamiento se encuentra el plano 5) donde podemos apreciar que el muro lateral izquierdo es de 84 metros de largo, muro frontal 60.73 metros y el muro lateral derecho de 75 metros.

Posteriormente, se reutilizaron los materiales de provecho la excavación realizada para la conformación de los túneles de recepción férrea. La excavación se realizó con excavadora con el accesorio de martillo hidráulico y compactado con plancha compactadora debido a las dimensiones de la solera de 0.5 metros de ancho, como se aprecia en las imágenes 23 y 24. Así mismo, la tolerancia de niveles será de ± 2.0 cm y el nivel de cimentación debe estar seco para la realización de la medición. En adición, esta deberá cumplir mínimo con obtener una compactación al 80% de la densidad relativa o al 95% de Proctor Modificado.

²⁸ ODEBRECHT. "Tisur 140- 041 - SPC 3001". Proyecto Matarani, 2014



Imagen 23: Excavación de Solera de nivelación

Fuente: Propia



Imagen 24: Compactación para Solera de Nivelación

Fuente: Propia

3.2.3.2. Colocación de Solera:

Las soleras son de concreto $F_c' = 10$ MPa vaciadas in situ. Es por ello que se opta por realizar un encofrado de madera para proceder con el vaciado. Por otro lado, la nivelación luego del vaciado en sentido horizontal y transversal son de gran importancia debido a que sobre esta base se montará los paramentos frontales de lo cual dependerá la verticalidad del muro montado posteriormente. En razón a ello, el error permitido en nivelación es solo de ± 5 mm cada 5.0 metro lineal en el sentido longitudinal. El procedimiento gráfico lo podemos apreciar en la siguiente imagen:



Imagen 25: Colocación del encofrado

Fuente: Elaboración propia

Las soleras como mínimo previas a recibir alguna carga compresiva, en este caso el paramento de concreto por lo menos debe presentar 1 día de curado. En adición, las soleras deberán desarrollar el 75% de resistencia. Ello con la finalidad de que no se vean afectadas por cargas de material granular. El detalle de la solera se presenta en la siguiente figura 26, así como en el plano 5. En la figura 25 se puede apreciar la solera luego del vaciado y amolado.

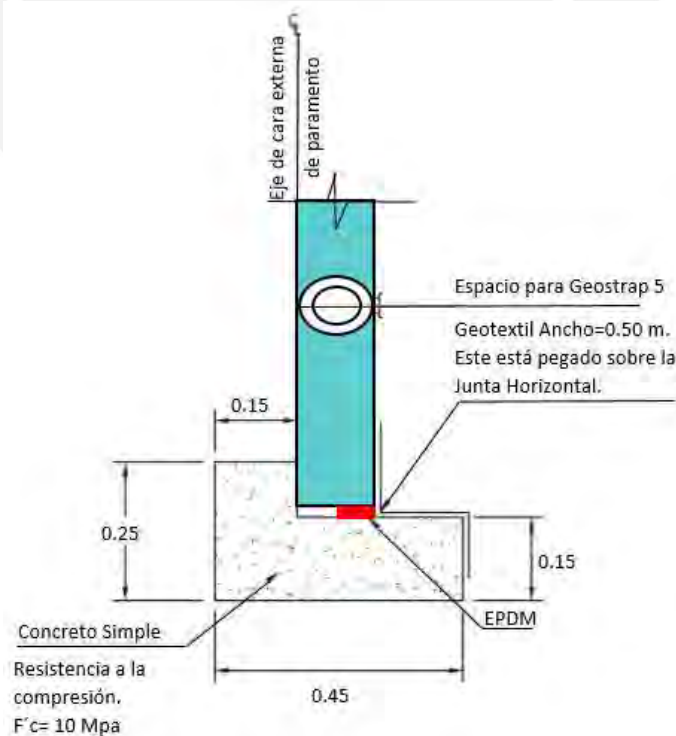


Imagen 26: Solera Típica y dimensiones

Fuente: Elaboración propia



Imagen 27: Soleras terminadas

Fuente: Propia

3.2.3.3. Instalación de Apoyos sobre Soleras

La colocación de los apoyos EPDM se colocan de 2 unidades en cada panel de la solera y 3 debajo de los pilares. La ubicación de los apoyos EPDM se pueden ver en la figura anterior (Véase imagen 26).

3.2.3.4. Colocación de Paramentos frontales:

Los paramentos utilizados en el proyecto son paramentos de concreto prefabricados TerraSquare, estos son fabricados con cemento tipo Portland V vaciados de forma continua, para alcanzar una resistencia a compresión a los 28 días de $F'c = 35\text{MPa}$. Estos paramentos constan de una superficie caravista y en el reverso el conector del tipo Geocore. Al presentar una superficie caravista, esta deberá ser encofrada con el uso de desmoldantes y con un correcto vibrado con el fin de evitar reparaciones debido a la presencia de segregaciones o cangrejeras.

Posteriormente, el transporte y almacenamiento de estos deberán realizarse con camiones de gran tonelaje (cama baja, por ejemplo) y la descarga se realizará con un montacargas. En todo momento deberán ser colocados sobre guías de madera o parihuelas de madera. Debido a que, el paramento nunca debe entrar en contacto con el terreno.

De esta manera, el procedimiento de colocación se inicia siguiendo la distribución de paramentos especificados en el plano 7, siguiendo el siguiente procedimiento:

- Primero, iniciar maniobras de izaje para la colocación de los paramentos. Por ello los paneles deberán haber alcanzado una resistencia mínima a la compresión de 26 MPA, cómo se aprecia en la figura siguiente:



Imagen 28: Izaje de primer paramento

Fuente: Elaboración propia

- Segundo, se colocan los apoyos de caucho Etileno – Propileno –Dieno – Monómero (EPDM) en primer panel a instalar.
- Tercero, se coloca el paramento medio como la distribución especificada a en el plano 7 antes mencionado y su colocación se puede apreciar en la figura 27.



Imagen 29: Colocación de primer Paramento

Fuente: Propia

- Cuarto, se coloca el EPDM para segundo panel.
- Quinto, seguidamente se coloca el segundo paramento.
- Sexto, se verifica la horizontalidad y la verticalidad con el aplome de los paramentos, como se aprecia en las imágenes 29 y 30 respectivamente.

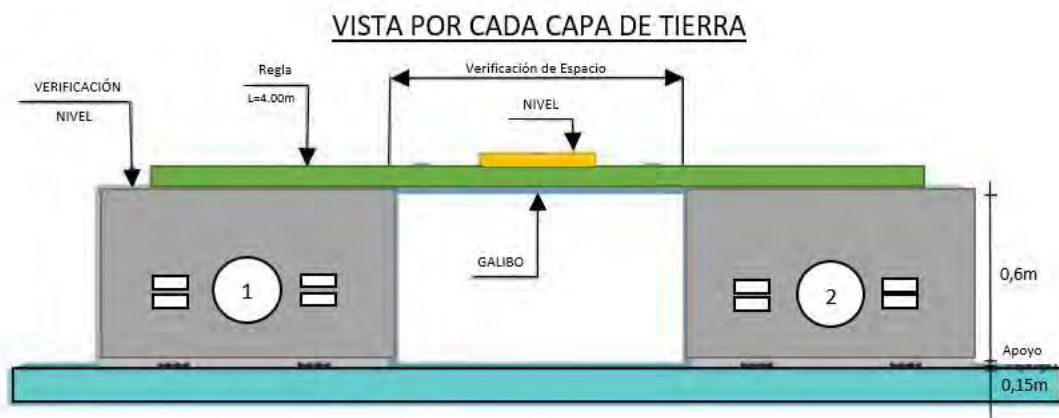


Imagen 30: Alineamiento Horizontal

Fuente: Odebrecht

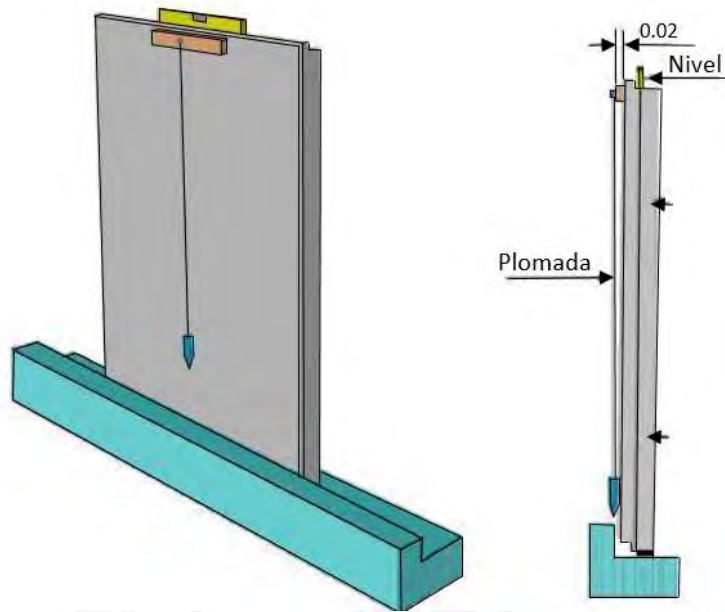


Imagen 31: Alineamiento Vertical

Fuente: Odebrecht

- Séptimo, se aploma con 2 centímetros hacia adentro los paramentos típicos y con 1 centímetro en los de medida media debido a que, la compactación de las capas de suelo empujara los paramentos restituyendo el aplome vertical.
- Octavo, se apuntalan los paramentos con una diagonal, si es posible también con la colocación de un refuerzo de apuntalamiento horizontal como se aprecia en la siguiente figura:

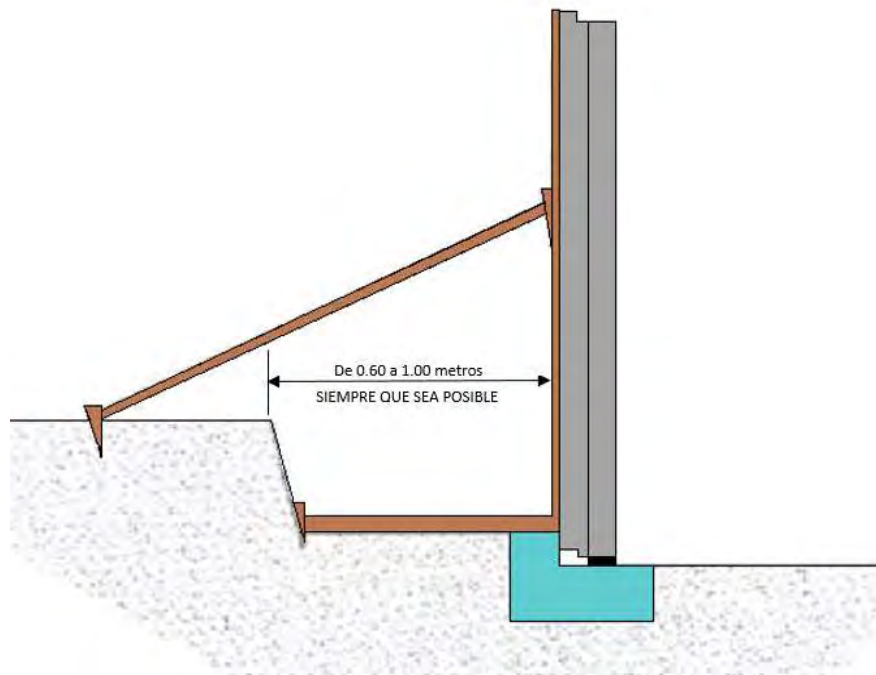


Imagen 32: Colocación de apuntalamiento

Fuente: Odebrecht

- Noveno, se coloca el paramento intermedio de altura completa, con el fin de poder generar una superficie dentada para que este sirva como guía para la siguiente fila de paramentos. La colocación del paramento intermedio se aprecia en la siguiente figura.

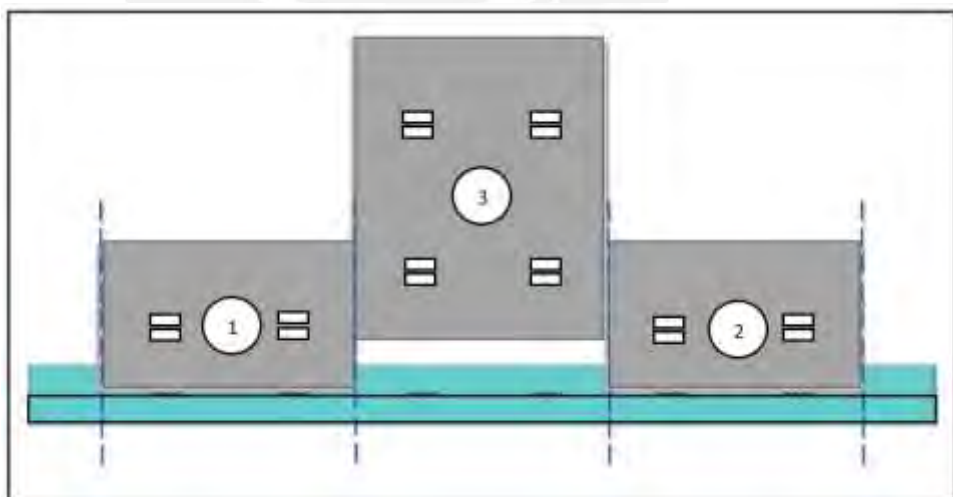


Imagen 33: Instalación de Paramento medio

Fuente: Odebrecht

- Décimo, se colocan los sargentos, que son soportes de madera que sirven de amarre entre los paramentos como se aprecia en la siguiente figura:

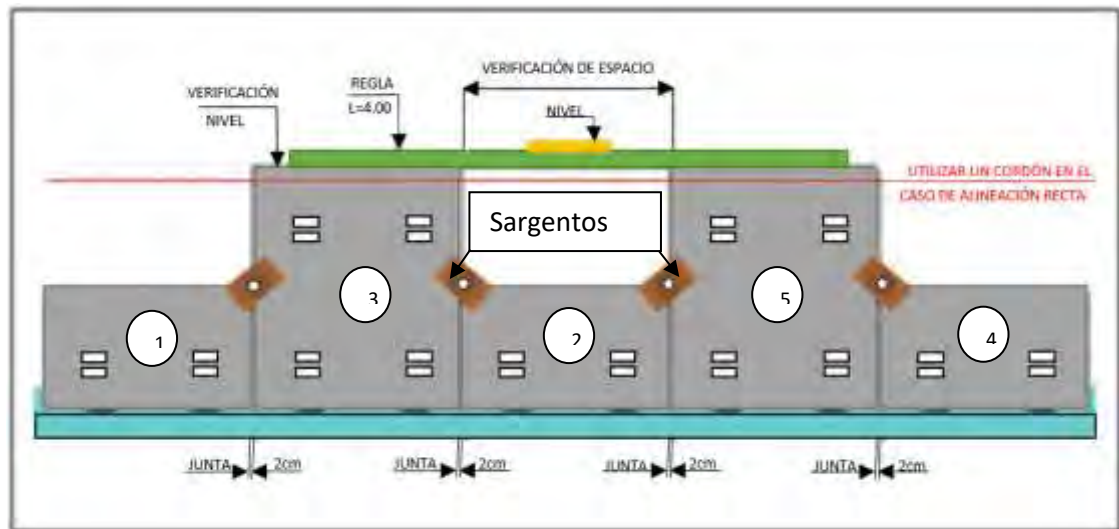


Imagen 34: Colocación de sargentos

Fuente: Odebrecht

- Décimo primero, repetir el proceso hasta completar la primera fila
- Décimo segundo, comprobar la alineación.
- Décimo tercero, pegar el geotextil en la primera línea de paneles y la solera.

3.2.3.5. Colocación del Geotextil No Tejido, Tubería y Geocompuesto:

La necesidad de colocar geotextiles, al igual que geocompuestos, en las estructuras tiene el fin de evitar filtraciones, socavación de la plataforma de la vía férrea, pérdida de cohesión y capacidad portante del muro.

Por ello los geotextiles funcionan como filtro para evitar la migración de los finos y permitir el drenaje del agua; de esta manera están compuestos por fibras que se cumplirán los siguientes parámetros de diseño presentados en la siguiente tabla:

Tabla 10 : Propiedades de los geotextiles no tejidos

Propiedad	Método de Ensayo	Unidad	Valor
Resistencia a la Tracción.	(ASTM D4632 ²⁹)	N	700
Elongación a la Tracción.	(ASTM D4632 ³⁰)	%	>50
Resistencia al Punzonamiento.	(ASTM D4833 ³¹)	N	345
Resistencia al Estallido.	(ASTM D3786 ³²)	KPA	1600
Desgarre Trapezoidal.	(ASTM D4533 ³³)	N	250
Permitividad.	(ASTM D4533 ³⁴)	S ⁻¹	2
Estabilidad Ultravioleta (%retenido @500hr).	(ASTM D4355)	%	>70

Fuente: Propia e Ingeniería Odebrecht

El geotextil se colocará en las caras posteriores de los paramentos en tiras de 0.4 metros en las uniones y pegadas con cola de caseína. En zonas de traslape esta tendrá que ser de 0.5 metros (cómo se aprecia en la imagen³⁵) con el fin de evitar que el suelo migre por las ranuras. Entonces, para la colocación del geotextil, el área de la instalación deberá ser perfilada y dejada libre de obstrucciones con el fin de evitar daños.

²⁹ ASTM International designation: D4632. Standard Test Method for Grab Breaking Load and Elongation of Geotextiles, 2015.

³⁰ *Ibidem*.

³¹ ASTM International designation: D4833. Standard Test Method for Index Puncture Resistance of Geomembranes and Related Products, 2015.

³² ASTM International designation: D3786. Standard Test Method for Bursting Strength of Textile Fabrics- Diaphragm Bursting Strength Tester Method, 2015.

³³ ASTM International designation: D4533, (2015). Standard Test Method for Trapezoid Tearing Strength of Geotextiles

³⁴ *Ibidem*.

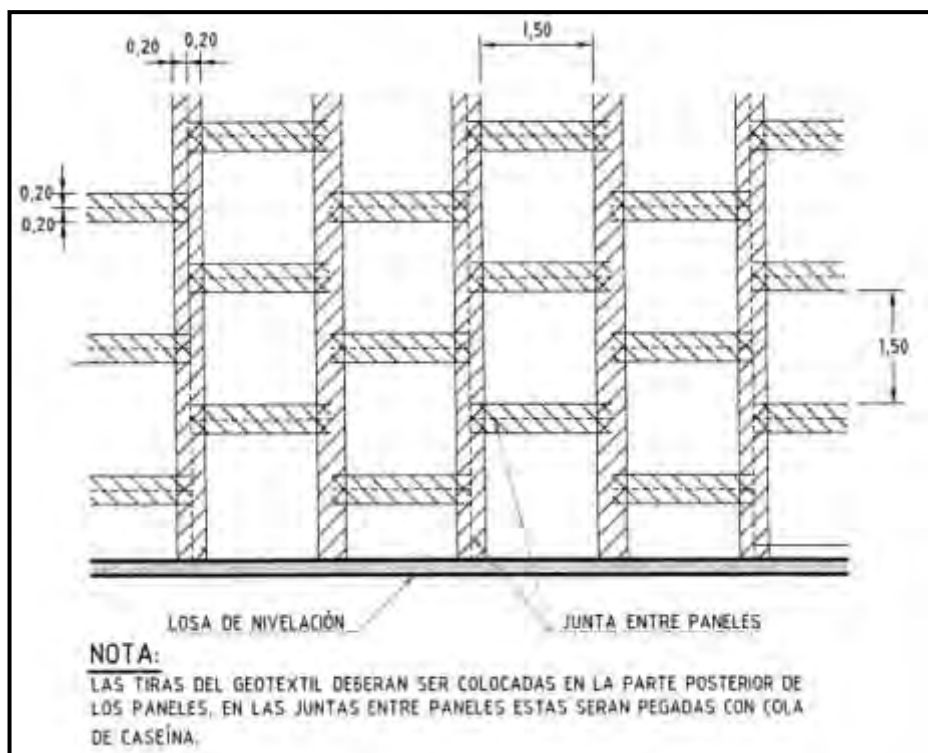


Imagen 35: Colocación de geotextil en paramentos

Fuente: Odebrecht

En adición, el geocompuesto tendrá la propiedad de guiar las posibles filtraciones, ya que la garúa presente en el puerto o derrames no deseados puede dañar seriamente la estructura. Entonces, se cumplirá con las normas ISO siguientes, cuyas características se aprecian en la siguiente tabla.

Tabla 11 : Propiedades del Geocompuesto

Principales Características	Norma	Unidades	Valor	Rendimiento
Medida de Apertura Característica O90	En (ISO 12956) ³⁵	µm	140	±42
Permeabilidad al Agua VH50	En (ISO 11058) ³⁶	m/s	10	80 (-24)
Resistencia a la Perforación Dinámica	En (ISO 13433) ³⁷	mm	34	8

³⁵ International Organization for Standardization. "ISO 12956: Geotextiles and geotextile-related products -- Determination of the characteristic opening size".2010.

³⁶ International Organization for Standardization. "ISO 11058: Geotextiles and geotextile-related products -- Determination of water permeability characteristics normal to the plane, without load" 2010.

³⁷ International Organization for Standardization. "ISO 13433: Geosynthetics -- Dynamic perforation test (cone drop test)" 2006.

Principales Características	Norma	Unidades	Valor	Rendimiento
Capacidad de Flujo en el Plano (MD) 20kPA, i=1"	En (ISO 12958) ³⁸	m ² /s	10	-20%
Resistencia a la Tracción	En (ISO 10319) ³⁹	kn/m	MD: 14.1 CMD : 17	-1.6 -1.5

Fuente: Elaboración propia con datos de Ingeniería Odebrecht

La colocación del geocompuesto, se efectuará en la interface entre el pedraplén y el muro de tierra armada. También, se usa geotextil, que envuelve la tubería corrugada de polietileno de 4" de diámetro, cuya función es desfogar el agua captada y evitar la pérdida de finos, como se aprecia en la siguiente imagen y en el plano 9.

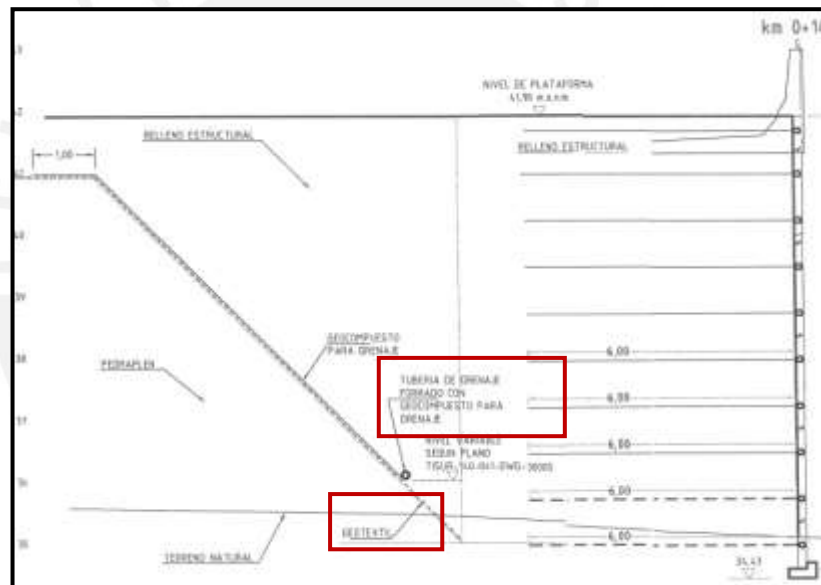


Imagen 36: Diagrama de Geotextil y Geocompuesto

Fuente: Propia e ingeniería Odebrecht

Por último, la tubería de polietileno de doble pared, designada también como AASHTO⁴⁰ tipo SP de pared exterior corrugada y de pared interior lisa con perforaciones, cumplirán los parámetros de la norma ASTM D3350⁴¹ que se colocará

³⁸ International Organization for Standardization. "ISO 12958: Geotextiles and geotextile-related products -- Determination of water flow capacity in their plane" 2010.

³⁹ International Organization for Standardization. "ISO 10319: Geosynthetics -- Wide-width tensile test" 2015.

⁴⁰ AASHTO, L. R. F. D. Bridge design specifications. 2010.

⁴¹ American Society of Testing Materials – ASTM. "D3350: Standard Specification for Polyethylene Plastics Pipe and Fittings Materials" 2015.

transversalmente a la pared con pendiente variable. Así las características más relevantes serán las presentadas en la siguiente tabla:

Tabla 12 : Propiedades de tubería AASHTO M252

Propiedad	Unidad	Valor
Diámetro Nominal	mm	100
Diámetro Interno Promedio	mm	102.6
Diámetro Externo Promedio	mm	116
Espesor de la pared interna (mínimo)	mm	0.5
Rigidez mínima del tubo al 5% de Deflexión	kN/m ²	345
Área Promedio	cm ² /cm	0.173
Momento de Inercia Promedio	cm ² /cm	0.0097

Fuente: Propia e Ingeniería Odebrecht

3.2.3.6. Colocación de las capas de relleno:

Para este procedimiento, se debe controlar que el material granular, pues éste debe cumplir con los siguientes parámetros antes de realizar su tendido:

- Primero, se selecciona la granulometría que deberá cumplir con los siguientes % que pasa en cada malla.

Tabla 13 : Granulometría de las capas

Tamiz		% que Pasa
(mm)	Numero	
80	3"	100
0.425	N°40	0-60
0.075	N°200	0-15

Fuente: Propia e Ingeniería Odebrecht

- Segundo, siendo el porcentaje de Material Fino (<#200) no debe ser mayor al 15%. Así mismo, el tamaño máximo de partícula de 3%.

- Tercero, el control del PH del relleno el cual debe encontrarse entre los valores de 2 y 9.
- Cuarto, las capas no deberían estar contaminadas, por lo que su contenido de material orgánico debe ser menor que el 2%.

De esta manera, las capas de compactación tendrán como máximo 30 centímetros de altura con una variación de ± 3 cm. Por ello, la compactación se realizará con equipo liviano para distancias de 1 a 1,5 metros próximos al paramento, para distancias mayores se usará rodillos vibratorios, ya que podría afectar al paramento generando desplome del mismo. Entonces, los porcentajes de compactación y humedad serán los siguientes:

- Hasta 1 metro detrás del paramento frontal este será compactado a un 90% del Proctor Modificado con una variación del óptimo contenido de humedad de $\pm 2\%$, esta variación estará de acuerdo con la ASTM – D – 1557.
- En adición, para distancias mayores a 1 metro se requerirá como mínimo una compactación del 95 % del Proctor Modificado con una variación del óptimo contenido de humedad de $\pm 2\%$, esta variación estará de acuerdo con la ASTM – D – 1557.

Estas capas de relleno de material serán obtenidas del material de préstamo de la Cantera Maconsa de un suelo de grava arcillosa bien gradada (GW-GC) con propiedades mecánicas evaluadas por el ensayo triaxial del Anexo 2 y que presenta la capacidad de compresibilidad de este material. Cabe resaltar que la cantera se encuentra ubicada a una distancia promedio 12 kilómetros de la obra.

Las propiedades mecánicas del suelo compactado deben ser uniformes a lo largo de las capas con las siguientes propiedades:

- Ángulo de fricción interna Efectiva: $\geq 38^\circ$
- Peso Específico: 20 kN /m³
- Cohesión efectiva: 0 kPa.

- Índice de Plasticidad: ≤ 11
- Contenido de sales solubles: $\leq 1.5 \%$

Para la colocación de las capas de material granular se deberá verificar que las superficies no presenten las siguientes incompatibilidades:

- Toda presencia de materiales orgánicos debe ser eliminada.
- El contenido de humedad del material. Cuando el material tenga una humedad superior al límite
- Taludes superiores a los especificados en los planos 11 y 12.
- Temperaturas del ambiente menores a 5°C .

Luego, el tendido del material se realizará en capas homogéneas de 30 centímetros esparcidas en dirección paralela a los paramentos. El avance de la compactación será en la misma dirección. Después del esparcido del material se humedecerá, mediante aspersión o escarificado hasta obtener el contenido de humedad uniforme.

Por otro lado, el control de calidad se medirá la toma de la densidad en al menos 1 punto cada 500 m^2 de relleno compactado. Los controles granulométricos, límites de Attenberg para los índices de plasticidad, PH, contenido de material orgánico y de sales solubles se realizarán a la cantera cada 2500 m^3 de material.

Este procedimiento se realizará en todas las capas de material granular tendidas hasta llegar a la altura requerida y especificada en los planos del 8 al 10. Asimismo, se puede apreciar en la figura que se presenta a continuación, la distribución de cada capa:

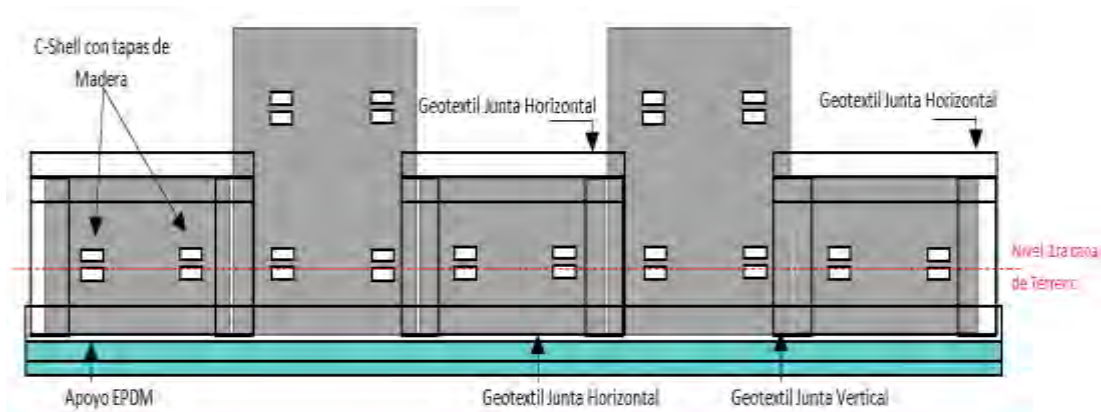


Imagen 37: Configuración de primera capa de relleno

Fuente: Odebrecht

En caso de que el material de la capa tenga una humedad superior a los límites establecidos, esta deberá seguir un proceso de escarificado para luego ser secado hasta obtener la humedad requerida u en casos críticos, se deberá retirar toda la capa y sustituir por una nueva. Por otro lado, cuando el material tenga una humedad ligeramente menor a la requerido, se debe regar con el fin de alcanzar la humedad requerida.

3.2.3.7. Colocación de refuerzos GEOSTRAP 5:

Las propiedades de cintas poliméricas de GEOSTRAP 5 presentan las siguientes características mecánicas:

Tabla 14 : Propiedades Mecánicas de GEOSTRAP 5

Tipo	Resistencia Máxima a la Tensión ¹ (kN)	Ancho ⁴² (mm)	Tolerancia (mm)
GeosTrap 5 - 37.5	37.5 KN	50	0 / -1

Fuente: Elaboración propia

⁴² La resistencia de la cinta se obtuvo mediante los ensayos de la ISO 10319

Asimismo, las propiedades de la cinta polimérica se deben ajustar a los valores del MARV (Valores Mínimos Promedios por Rollo) presentados en la siguiente tabla:

Tabla 15 Propiedades del GEOSTRAP 5

Propiedades	Unidad ⁴³	Tipo 37.5
Propiedades Mecánicas		
Resistencia Máxima a la tensión (Tul)	kN	37.5
Factores de Reducción		
Fluencia (vida útil de 100 años) , RFcr		1.56
Daños Ambientales (Rango de 3<PH<9) ,RFd*		1.07
Efectos por daños de instalación, Rfid*		1.11
FR =RFcr*RFd*Rfid*		1.85
Determinación de Resistencia a Largo Plazo		
Tad = Tul /FR	kN	20.24

Fuente: Elaboración propia con data de Ingeniería Odebrecht

Luego, para la colocación del GEOSTRAP se debe trazar sobre la superficie de la primera capa constituida, debido a la longitud requerida del refuerzo que es menor a 8 metros no será necesaria realizar una zanja de tensión como lo sugiere los procedimientos constructivos de Tierra Armada elaborado por Freyssinet. Entonces, seguiremos el siguiente procedimiento:

- Primero, se colocará en el extremo opuesto de los paramentos internos estacas del tipo "J" de acero Ø 10 mm cada 1.00 metro, en ese punto se colocará una varilla de acero de 6 metros de Ø 12 mm.
- Segundo, con la ayuda de la barra de acero se procederá a colocar en zigzag en los paramentos como se puede apreciar en gráficamente el anexo 4 y en los planos 4 y 5. Además, los refuerzos deberán ser fuertemente tensionados. Por lo cual se colocarán 3 grapas para mantener tensionado el refuerzo

⁴³ El ancho de las cintas se obtuvo en base a los ensayos ISO 22198

- Por último, para la colocación de la siguiente capa de refuerzo se debe tomar en consideración que ningún equipo debe estar sobre los refuerzos a menos que haya una capa de 10 cm que los recubran.



4. CAPITULO 4: ETAPA DE PLANEAMIENTO Y RESULTADOS

En este capítulo se abordará el tema de la optimización del planeamiento, buscando solucionar la necesidad del proyecto de optimizar el proceso, reducir el tiempo de construcción, reducción de recursos y también costos. Por ello, se desarrollará la fase de planeación de la construcción y el costo del plataformado para el método de Terraplén y Pedraplén. Siguiendo una práctica recurrente en toda obra de construcción la sectorización de la división de actividades por frentes, plataformas y túneles. Lo cual permitirá comparar ambos procesos tanto en tiempo como en costo.

4.1. Metrados:

Toda obra en etapa de planeamiento debe los frentes de trabajo, las interferencias entre los procesos propios de la obra, así como la secuencialidad de la misma para evitar interferencias entre las mismas; por lo cual, se dividirá por frentes, en sectores.

Para el metraje de los volúmenes de relleno se consideró los planos del 4 al 13, tanto de las vistas en corte como de planta, información que fue suministrada por la empresa Constructora Odebrecht.

Se considerarán los volúmenes necesarios para rellenar el pedraplén o terraplén, ya que este será el único volumen que se reemplazará, puesto que el volumen de muro de relleno con Terramesh será constante en ambos procesos constructivos del plataformado de la recepción férrea Cerro Verde. Los frentes de construcción serán divididos en los siguientes sectores:

Tabla 16 : Metrados

Descripción	M3
1. Relleno plataforma Vía Férrea CV	13,581.80
2. Túneles	11,481.21
2.1. Relleno de Estructuras (Túnel Recepción)	7,026.21
2.2. Relleno de Estructuras (Túnel Embarque)	4,455.00
3. Relleno Estructura Edificio de Recepción CV	6,888.27
Total	31,951.28

Fuente: Elaboración propia

4.2. Productividad de mano de obra:

Los rendimientos de las actividades presentadas en la elaboración de cada relleno serán multiplicados por el índice de los obreros de sus respectivas composiciones con el fin de obtener así la cantidad necesaria para la conformación de cuadrilla.

$$\text{Índice} * \text{Rendimiento de Actividad} = \text{Cantidad de trabajadores} \quad (4)$$

Para el caso del terraplén obtendremos el siguiente cuadro.

Tabla 17 : Cuadrilla requerida para Terraplenado

Rendimiento Terraplén: 30 m3/h			
Categoría	Umed.	Índice	Cantidad
Peón	hh/m3	0.068571	3.00
Oficial Movimiento de Tierra	hh/m3	0.068571	3.00
Operario Movimiento de Tierra	hh/m3	0.068571	3.00
Capataz Movimiento de tierra	hh/m3	0.034286	1.00
	Total H		10.00

Fuente: Elaboración propia

Para el caso de pedraplén tendremos 2 procesos que dependen de la ubicación donde se realice el conformado del mismo, estos son en Túnel y plataforma. La distribución de sus índices y personal queda reflejada en los siguientes cuadros de la actividad:

Tabla 18 : Cuadrilla requerida para Pedraplén en Plataforma

Rendimiento en Plataforma: 80 m3/h			
Categoría	Umed.	Índice	Cantidad
Peón	hh/m3	0.051471	5.00
Oficial Movimiento de Tierra	hh/m3	0.102941	9.00
Operario Movimiento de Tierra	hh/m3	0.154412	13.00
Capataz Movimiento de tierra	hh/m3	0.0125	1.00
	Total H		28.00

Fuente: Elaboración propia.

Cabe resaltar que a esta cuadrilla no se está considerando operarios que se dedican al uso de los equipos para la conformación, puestos que estos están incluidos en los costos de los equipos mismos dado que son subcontratados.

Tabla 19 : Cuadrilla requerida para Pedraplén en Plataforma

Rendimiento en Túnel: 28 m3/h			
Categoría	Umed.	Índice	Cantidad
Peón	hh/m3	0.051471	2.00
Oficial Movimiento de Tierra	hh/m3	0.102941	3.00
Operario Movimiento de Tierra	hh/m3	0.154412	5.00
Capataz Movimiento de tierra	hh/m3	0.03714	1.00
Total H			11.00

Fuente: Elaboración propia

4.3. Costos:

En este inciso desarrollaremos el análisis de costos y productividad mediante la multiplicación de sus metrados por sus precios unitarios por cada actividad. Se incluye el costo de equipos, manos de obra, así como de materiales. Sin embargo, ya que desde un inicio no se consideró el uso de gaviones y se implementó el uso de muro de tierra armada como opción única de aplicación, se realizará el análisis de la diferencia entre el proceso constructivo del terraplén y el pedraplén.

Por otro lado, se debe considerar que el volumen de rocas que se obtuvo en el proceso de excavación fue de 255,000.00 m³ de los cuales 18,000.00 m³ fueron usados para desarrollo de las plataformas para las obras provisionales, como el campamento y el almacén. Tenemos un saldo de 237,000.00 m³ de roca que cuyo coste se encontraba incluido en la conformación de DME'S. En la búsqueda de obtener una mayor eficiencia en la disposición del material, alrededor de 31,951.28 m³ de volumen serán rellenos con este material excedente para el proceso de relleno tanto de plataformado como de túnel, por lo cual su costo como materia prima será de \$0; sin embargo, el tratar el material para que este sea usable sí presentará un costo extra, el cual será presentado mediante del tamizado de este en la zaranda.

4.3.1. Costo y productividad de mano de obra y equipos:

Los siguientes cuadros se han desarrollado con el fin de poder realizar un comparativo de precios entre las actividades del terraplén y el Pedraplén. Este procedimiento se realizó con los índices reales tomados de campo y los costos unitarios por insumo. Todo con el fin de poder hallar la productividad y el costo en US\$/m3.

4.3.1.1. Costo horario de Mano de Obra

Para el desarrollo de este ítem se tomará la sumatoria de los siguientes rubros estipulados en la ley, siendo estos: el jornal básico, leyes sociales y bonificaciones.

Se tendrá por ello, una jornada laboral de 8 horas diarias las cuales, el empleador deberá pagar semanalmente el costo de las horas totales semanales. Este valor es el resultado del producto de estas 8 horas por el número de días útiles de cada semana más las horas extras que se hayan laborado.

Tabla 20: Cálculo del costo horario de la mano de obra Directa

Ítem	Descripción	Turno Normal de 8 Horas				Horas extras al 60 %				Horas Nocturnas al 20 %								
		%	Categoría				%	Categoría				%	Categoría					
			Capataz	Operario	Oficial	Peón		Capataz	Operario	Oficial	Peón		Capataz	Operario	Oficial	Peón		
A	Jornal y bonificaciones día																	
A.1.	Remuneración Básica (S./)		83.88	48.60	41.60	37.20		10.48	6.08	5.20	4.65							
A.2.	BUC	32%/30%	26.84	15.55	12.48	11.16												
A.3.	Bonificación por Especialización	0%	0.00	0.00	0.00	0.00												
A.4.	Bonificación por Movilidad		6.00	6.00	6.00	6.00												
A.5.	Bonificación por Overol		0.40	0.40	0.40	0.40												
B	Sobretiempo																	
B.1.	Remuneración Básica (S./)			0	0	0		6.29	3.65	3.12	2.79		2.10	1.22	1.04	0.93		
B.2.	BUC			0.00	0.00	0.00												
B.3.	Asignación Escolar			0.00	0.00	0.00												
B.4.	Bonificación por Movilidad			0.00	0.00	0.00												
	Sub total		117.12	70.55	60.48	54.76		16.78	9.72	8.32	7.44		2.10	1.22	1.04	0.93		
C	Leyes Sociales. Sobre																	
C.1.	Remuneración Básica (S./)	132.55%	111.18	64.42	55.14	49.31	42.27%	4.43	2.57	2.20	1.97							
C.2.	BUC	18.17%	4.88	2.83	2.27	2.03												
C.3.	Bonificación por Movilidad	2.78%	0.00	0.00	0.00	0.00												

Ítem	Descripción	Turno Normal de 8 Horas				Horas extras al 60 %				Horas Nocturnas al 20 %						
		%	Categoría				%	Categoría				%	Categoría			
			Capataz	Operario	Oficial	Peón		Capataz	Operario	Oficial	Peón		Capataz	Operario	Oficial	Peón
C.4.	Sobretiempo			0.00	0.00	0.00	21.65%	1.36	0.79	0.68	0.60	14.18%	0.30	0.17	0.15	0.13
	Sub total		116.05	67.25	57.41	51.34		5.79	3.36	2.87	2.57		0.30	0.17	0.15	0.13
D.	Costo total Día Hombre		233.17	137.80	117.89	106.10										
E.	Costo de la Hora Hombre		29.15	17.22	14.74	13.26		22.57	13.08	11.19	10.01		2.39	1.39	1.19	1.06

H.		DIA 10 HORAS DIURNO		278.31	163.95	140.28	126.12
		Valor Hora Diurna (s/)		27.83	16.40	14.03	12.61
		DIA 10 HORAS NOCTURNO		297.46	175.05	149.78	134.61
		Valor Hora NOCTURNO (s/.)		29.75	17.50	14.98	13.46
		Tarifa Horaria Promedio (s/.)		28.79	16.95	14.50	13.04
		Tarifa Horaria Promedio(\$)		2.61	11.03	6.49	5.56

Fuente: Elaboración propia.

4.3.1.2. Costo total por Actividad.

El material granular calificado, proviene de la cantera Maconsa y su precio unitario incluía el transporte a pie de obra, siendo el costo de este de \$14.4 por metro cúbico.

Para ello se realizarán tablas comparativas de índice, costo unitario y productividad, las cuales estarán regidas bajo las siguientes formulas:

$$\text{Costo unitario de Vía Composición cerrado} = \text{Índice} * \text{Costo unitario de insumo} \quad (5)$$

$$\text{Productividad: } 1 / \text{Índice} \quad (6)$$

Cabe señalar que los índices son los obtenidos de acuerdo con la experiencia constructora de Odebrecht. Estos representan la capacidad de producir por hora.

Además, por actividad identificaremos el equipo Líder, el cual es que comanda la producción del servicio o partida. Los rendimientos de los equipos fueron entregados por la empresa Odebrecht en el desarrollo de su experiencia constructiva.

De esta manera, iniciaremos con el análisis del terraplén, el cual será de una productividad única debido a que su procedimiento constructivo que se presenta en la siguiente tabla:

Tabla 21 : Análisis de costos y rendimiento de relleno con suelo (terraplén)

Descripción	Umed.	Índice	Costo Unitario de Insumos	Costo Unitario - Vía Composición cerrado (H)	Productividad		
Mano de Obra		0.240000		1.55			
Peón	H	0.068571	4.99	0.34	14.583	m3/h	
Oficial Movimiento de Tierra	H	0.068571	5.55	0.38	14.583	m3/h	
Operario Movimiento de Tierra	H	0.068571	6.55	0.45	14.583	m3/h	
Capataz Movimiento de tierra	H	0.034286	11.03	0.38	29.166	m3/h	
Material				15.40			
Herramientas Manuales	US\$	1	1	1.00	1	m3/US\$	
Material de Préstamo. D= 12Km	m3	1.2	12	14.40	0.833	m3/m3	
Equipamiento				9.43			
Rodillo Liso Autopropulsado 60HP 2-3tn	h	0.133333	32.69	4.36	7.500	m3/h	
Motoniveladora 180 HP (Incluye Operador)	h	0.04	78.69	3.15	25.000	m3/h	
Rodillo Tándem 7-9 (Incluye Operador)	h	0.033333	57.64	1.92	30.000	m3/h	
Reversión				0.50			
Agua de Obra D=15 Km	m3	0.05	10.08	0.50	20	m3/m3	
Colocación de Material de Préstamo Terraplén	US\$/m3	26.88					

Fuente: Odebrecht.

Luego, se aprecia que el equipo líder sería el Rodillo Tándem puesto que con este se daría la finalidad del proceso, por lo que el rendimiento de la actividad sería de 30 m3/h.

Por otro lado, las siguientes tablas serán del proceso constructivo con el uso de pedraplén. Este incluirá el uso de la zaranda, la conformación en plataformas, así

como su colocación entre túneles de recepción férrea, ya que, el proceso de terraplén en el proyecto incluía todas esas actividades.

Entonces, iniciaremos con el análisis de la productividad de la zaranda, donde se debe considerar el costo de la zaranda en sí, el cual es de US\$ 40000. Esta cantidad incluye el precio de mantenimiento para el volumen a obtener, mantenimiento que se realiza cada 15000 m3, que se presenta a continuación en la tabla 22.

Tabla 22: Productividad de la Zaranda de 15”x 15”

Descripción	Umed.	Índice	Costo Unitario de Insumos	Costo Unitario - Vía Composición cerrado (H)	Productividad	
Mano de Obra		0.04		0.22		
Oficial Movimiento de Tierra	h	0.04	5.55	0.22	0.180	m3/h
Material				0.10		
Materiales varios de consumo	US\$	0.1	1	0.10	1.000	m3/US\$
Equipamiento				3		
SC Zaranda metálica	m3	3	1	3.00	1.000	m3/m3
Reversión				2.27		
Cargador Frontal s/lantas 180 HP (Incluye Operador)	h	0.008	100.41	0.80	0.010	m3/h
Torre de Iluminación	mes	0.000081	778	0.06	0.001	m3/mes
Excavadora s/orugas CAT 336 (Incluye Operador)	h	0.005556	120	0.67	0.008	m3/h
Camión Volquete 16 m3 (OPIC)	h	0.016667	44.13	0.74	0.023	m3/h
Colocación de Pedraplén con Excavadora	US\$/m3			5.59		

Fuente: Odebrecht

De lo anterior se obtiene un rendimiento promedio de 69.5 m3/h y también una eficacia de la zaranda de un 64%, esta información fue suministrada de la experiencia constructiva de la empresa constructora.

Cómo se podrá apreciar se ha obtenido un costo de 5.59US\$/m3; sin embargo, este costo no estaría representando el valor real en la colocación. Esto se debería a que el material también se ve afectado por el Factor de compactación y desperdicio propio de la actividad, para ello aplicaremos la siguiente fórmula:

$$P'u = P_u * F_c$$

(7)

Donde:

P'u = Precio unitario real

P_u = Precio unitario

F_c = Factor de Compactación

En el proyecto se usó el factor de compactación de 1.4, por lo cual, el precio unitario de la producción de las rocas sería de U\$ 7.83 por metro cúbico. Este valor también formara parte de la composición del precio por m3 de la construcción del terraplén.

A continuación, en la siguiente tabla se desarrolla el costo por m3 de lo que sería la plataforma de recepción férrea en vía externa, el cual al ser una zona amplia tendrá una mayor facilidad constructiva para el lanzado y conformado del material.

Tabla 23 : Rendimiento de Pedraplén en plataformas

Descripción	Umed.	Índice	Costo Unitario de Insumos	Costo Unitario - Vía Composición cerrado (H)	Productividad	
Mano de Obra		0.361205		1.97		
Peón	h	0.051471	4.99	0.26	19.428	m3/h
Oficial Movimiento de Tierra	h	0.102941	5.56	0.57	9.714	m3/h
Operario Movimiento de Tierra	h	0.154412	6.49	1.00	6.476	m3/h
Capataz Movimiento de tierra	h	0.0125	11.03	0.14	80.000	m3/h
Material				0.16		
Herramientas Manuales	US\$	0.05	1	0.05	20.000	m3/US\$
Geotextil No Tejido	m2	0.1	1.12	0.11	10.000	m3/m2
Equipo				2.41		
Tractor s/orugas D8 (Incluye operador)	h	0.0125	141.66	1.77	80.000	m3/h
Rodillo Tándem 7-9 (Incluye operador)	h	0.011111	57.64	0.64	90.001	m3/h
Reversión				10.99		
Agua en Obra D= 15 km	m3	0.05	10.08	0.50	20.000	m3/m3
Preparación de Material Pedraplén	m3	1.4	5.59	7.83	0.714	m3/m3
Transporte interno D=1.5Km	m3	1.4	1.1	1.54	0.714	m3/m3

Descripción	Umed.	Índice	Costo Unitario de Insumos	Costo Unitario - Vía Composición cerrado (H)	Productividad	
Carguío de material con Cargador Frontal	m3	1.4	0.8	1.12	0.714	m3/m3
Colocación de Pedraplén con Tractor	US\$/m3			15.53		

Fuente: Odebrecht

La productividad de esta actividad estará definida por el rendimiento del tractor/orugas D8T el cual presenta 80.0 m³/h este equipo será considerado equipo líder. Lo llamamos equipo líder, ya que su productividad es la menor y por lo cual es restrictiva para las siguientes actividades Por ello en base a este que se dimensionó las cuadrillas y los equipos a utilizar.

De una manera análoga, se realiza el análisis de la productividad y costo por m³ en la confirmación del pedraplén entre los túneles de recepción férrea, los cuales quedan plasmados en la siguiente tabla:

Tabla 24 : Análisis de Pedraplén en túneles

Descripción	Umed.	Índice	Costo Unitario de Insumos	Costo Unitario - Vía Composición cerrado (H)	Productividad	
Mano de Obra		0.361205		2.24		
Peón	h	0.051471	4.99	0.26	19.428	m3/h
Oficial Movimiento de Tierra	h	0.102941	5.56	0.57	9.714	m3/h
Operario Movimiento de Tierra	h	0.154412	6.49	1.00	6.476	m3/h
Capataz Movimiento de tierra	h	0.03714	11.03	0.41	26.925	m3/h
Material				0.05		
Herramientas Manuales	US\$	0.05	1	0.05	20.000	m3/US\$
Equipamiento				4.30		
Tractor s/orugas CAT 336 (Incluye operador)	h	0.035714	120.36	4.30	28.000	m3/h
Reversión				10.99		
Agua en Obra D= 15 km	m3	0.05	10.08	0.50	20.000	m3/m3

Descripción	Umed.	Índice	Costo Unitario de Insumos	Costo Unitario - Vía Composición cerrado (H)	Productividad	
Preparación de Material Pedraplén	m3	1.4	5.59	7.83	0.714	m3/m3
Transporte interno D=1.5Km	m3	1.4	1.1	1.54	0.714	m3/m3
Carguío de material con Cargador Frontal	m3	1.4	0.8	1.12	0.714	m3/m3
Colocación de Pedraplén con Excavadora	US\$/m3			17.58		

Fuente: Odebrecht

Al igual que en la actividad anterior la productividad estará definida por el tractor/oruga en este caso del modelo CAT336, para este caso será el equipo líder. Esta actividad tendrá por lo cual una productividad de 28 m3/h.

4.3.2. Costo total:

Para determinar el costo total, se toman los valores de los análisis unitarios anteriormente realizados, de cada proceso constructivo, luego se multiplican por el metrado total, obteniendo así la siguiente tabla:

Tabla 25 : Comparativo de costos por procedimiento

Descripción	Umed	Metrado (m3)	TERRAPLEN		PEDRAPLEN		Diferencia
			C.U. (US\$/m3)	Costo Parcial (US\$)	C.U. (US\$/m3)	Costo Parcial (US\$)	
Relleno plataforma Vía Férrea CV	m3	13,581.80	26.88	365,078.78	15.53	210,965.22	154,113.57
Relleno plataforma Vía Férrea CV	m3	13,581.8	26.88	365,078.784	15.53	210,965.2156	154113.5684
Túneles		11,481.21	28.12	322,851.34	35.16	201,840.40	121,010.94
Relleno de Estructuras (Túnel Recepción)	m3	7,026.21	28.12	197,576.74	17.58	123,521.2154	74,055.52464
Relleno de Estructuras (Túnel Embarque)	m3	4,455	28.12	125,274.6	17.58	78,319.18124	46,955.41876
Relleno Estructura Edificio de Recepción CV	m3	6,888.27	28.12	193,698.15	17.58	121,096.22	72,601.93

Relleno para Cimentaciones (Recepción Férrea)	m3	6,888.27	28.12	193,698.15	17.58	121,096.2215	72,601.92854
Costo de Zaranda y mantenimiento	und	1	0	0	40000	40,000.00	-40,000.00
Suma Total		31,951.28		881,628.27		573,901.84	307,726.44

Fuente: Elaboración propia

Con estos valores podemos comparar que se obtiene un beneficio de carácter económico bastante grande al modificar estos procedimientos.

Cabe resaltar el costo independiente del muro de tierra Armada fue suministrada por la empresa Odebrecht, que lo asumiremos como un costo global de \$ 40,164.25 que lo podremos apreciar en la tabla siguiente. Este monto será el mismo para ambos procesos constructivos, ya que esta tecnología se evaluó para ambos procesos constructivos.

Tabla 26: Costo del proyecto del Terramesh

COSTO DE TERRAMESH							
Descripción	UMed.	Índice Realizado	C. Unit. Realizado	C. Total Realizado	C. Total Prev.	Qtde. Realizada	Costo Realizado (US\$)
Relleno con sistema Terramesh - Via Ferrea	m3			11.210	13.120	3,494.410	40,164.2465
Mão de Obra		0.101651		0.480	1.220	355.212	1,701.990
Vigia / ayudante señalero	H	0.001558	2.470			5.445	13.450
Peon*	H	0.050357	4.010	0.200	0.180	175.967	705.340
Oficial albañil*	H						
Oficial Movimiento de Tierras*	H	0.027971	4.590	0.130	0.480	97.741	449.050
Operario Albañil*	H						
Operario Carpintero*	H	0.002861	6.100	0.020		9.998	60.950
Operario Fierro*	H	0.009246	4.760	0.040		32.310	153.680
Operario Movimiento de Tierra*	H	0.009659	5.130	0.050	0.200	33.751	173.180
Rigger - Off Shore*	H						
Capataz*	H			0.040			146.340
Capataz de Concreto*	H						
Capataz Movimiento de Tierra*	H				0.360		
Materiais				8.950	0.860	2,596.330	30,719.530
Curador	Gal						

COSTO DE TERRAMESH							
Descripción	UMed.	Índice Realizado	C. Unit. Realizado	C. Total Realizado	C. Total Prev.	Otde. Realizada	Costo Realizado (US\$)
Herramientas manuales	US\$				0.050		
Materiales varios de consumo	US\$	0.129444	1.170	0.150	0.130	452.330	527.370
Material de Prestamo	m3	0.041209	9.670	0.400		144.000	1,392.160
Material de Prestamo	m3	0.572343	14.400	8.400		2,000.000	28,800.000
Geotextil No Tejido	m2				0.680		
Material para Muros Sist Tierrasquare incl flete	m2						
Subempreiteiro					3.820	208.575	1,547.6265
SC encofrado de Cimientos (incl. flete)	m2						
SC Concreto fc = 350kg/cm2 Tipo V; 618 unidades de paramento	m3		7.420			208.575	1,547.6265
SC Zaranda metalica	m3				3.750		
Pago de agua	m3				0.070		
Uas - Fam. Equipamentos				1.670	7.230		5,804.470
Camión plataforma c/ grua 15 ton-On shore (Op/Com)	H						
Cargador Frontal s/llantas 280 HP	H	0.000143	92.480	0.010	2.130	0.500	46.240
Excavadora Sobre Orugas	H				0.770		
Grupo Electrógeno 100 KW -	H						
Minicargador 80 HP (propio)	H	0.000658	55.630	0.040		2.300	127.940
Retroexcavadora s/llantas 85 HP Propia	H						
Vibadora de concreto	H						
Vibroapisonador	H						
Tractor D-8	H				1.710		
Camion Cisterna 4500 Gln (OPIC)	H	0.012105	26.090	0.320	0.370	42.300	1,103.740
Rodillo Compactador 7-9 ton	H						
Rodillo liso 2 - 3 tn	H						
Motoniveladora 140 H (OPIC)	H						
Camión Volquete 16 m3(OPIC)	H	0.031794	40.740	1.300	2.180	111.100	4,526.550
Excavadora S/orugas C/martillo Hidraulico 336 DL	H						

COSTO DE TERRAMESH							
Descripción	UMed.	Índice Realizado	C. Unit. Realizado	C. Total Realizado	C. Total Prev.	Otde. Realizada	Costo Realizado (US\$)
Torre de Iluminacion	MES				0.070		
UAs - Outras Reversões				0.110		85.100	390.630
Taller de Habilitacion de acero	Kg	0.007898	0.380			27.600	10.550
Acopio de material para relleno	m3	0.016455	6.610	0.110		57.500	380.080

Fuente: Elaboración propia

4.4. Programación de actividades

4.4.1. Días practicables:

4.4.1.1. Días de lluvia

Para determinar este valor se evalúa el promedio anual de precipitaciones diarias en Islay – Arequipa, para ello usaremos la información obtenida de la estación Cocachacra. Ahora bien, al apreciar que las precipitaciones medias son de 3 mm⁴⁴ se concluye que el impacto de lluvia y precipitaciones no limita en los días practicables pues para considerar un impacto el valor de intensidad media de lluvia debería superar los 10 mm⁴⁵.

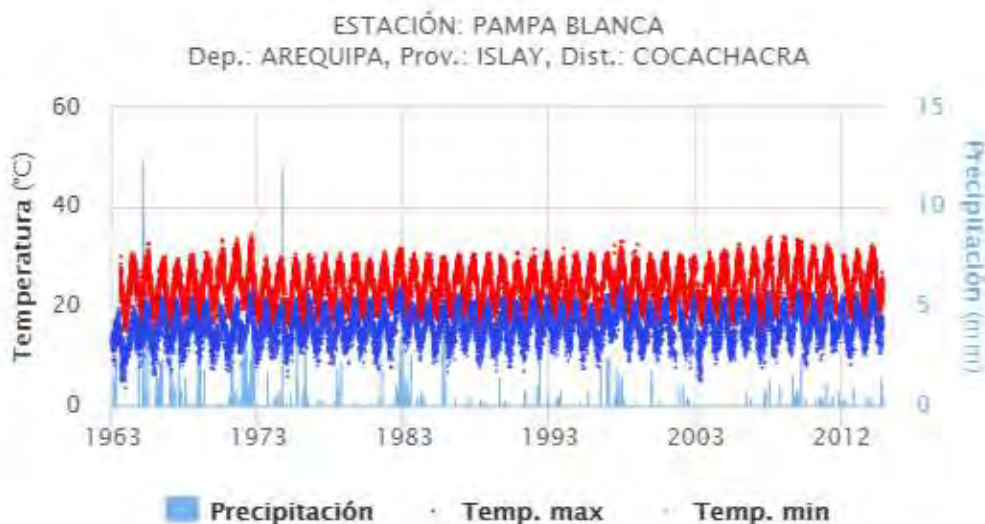


Imagen 38 : Histograma de temperatura y precipitación

Fuente: SENAMI

⁴⁴ CLIMATE DATA. ORG. "Clima Matarani" Fuente: <https://es.climate-data.org/location/47181/>. Revisado el 18.12.2016.

⁴⁵ Paredes, Reyes R. A. "Planeamiento Integral De La Construcción De Una Presa De Tierra En El Departamento De Ayacucho." 2004

Como se comentó anteriormente y como se aprecia en el histograma de precipitaciones mostrado, la precipitación no es un factor considerable y es por ello que la evaluación en el planeamiento afectada por una amplificación de los días de lluvia, por el Factor de Retomada quedaría descartado.

Sin embargo, se debe considerar los días no laborables que presenta el estado peruano y que por su propia naturaleza no deberían ser considerados en la etapa de planeamiento y ejecución con el fin de evitar sobrecostos en mano de obra directa, esta información la podemos apreciar en la siguiente tabla que se basa en la información del Ministerio del Trabajo y promoción del Empleo (MINTRA)⁴⁶.

Feriados del Año 2014		
Mes	Día	Festividad
Enero	1	Año Nuevo
Abril	17,18	Jueves y Viernes Santo
Mayo	1	Día del Trabajo
Junio	29	Día de San Pedro y San Pablo
Julio	28, 29	Día de la Independencia del Perú
Agosto	30	Día de Santa rosa de Lima
Octubre	8,25	Batalla de Angamos, Día de la construcción Civil
Noviembre	1	Día de todos los Santos
Diciembre	8, 25	Día de Inmaculada Concepción - Navidad

Feriados del Año 2015		
Mes	Día	Festividad
Enero	1	Año Nuevo
Abril	2,3	Jueves y Viernes Santo
Mayo	1	Día del Trabajo
Junio	29	Día de San Pedro y San Pablo
Julio	28, 29	Día de la Independencia del Perú
Agosto	30	Día de Santa rosa de Lima
Octubre	8,25	Batalla de Angamos, Día de la construcción Civil
Noviembre	1	Día de todos los Santos
Diciembre	8, 25	Día de Inmaculada Concepción - Navidad

Considerando estas limitantes podemos realizar un calendario en el cual se pudo planificar las actividades, considerando los días practicables.

⁴⁶. MINTRA (2015). *Ministerio de Trabajo y Promoción del Empleo: Descansos en días feriados de Construcción Civil*. Recuperado de <http://www.mintra.gob.pe/mostrarResultadoTemaSNIL.php?page=2&codTema=32&ip=20>

Tabla 27: Calendario de procesos constructivos

Calendario de Terraplén

2014

SEPTIEMBRE						
Lu	Ma	Mi	Ju	Vi	Sa	Do
1	2	3	4	5	6	7
8	9	10	11	12	13	14
15	16	17	18	19	20	21
22	23	24	25	26	27	28
29	30					

OCTUBRE						
Lu	Ma	Mi	Ju	Vi	Sa	Do
		1	2	3	4	5
6	7	8	9	10	11	12
13	14	15	16	17	18	19
20	21	22	23	24	25	26
27	28	29	30	31		

NOVIEMBRE						
Lu	Ma	Mi	Ju	Vi	Sa	Do
					1	2
3	4	5	6	7	8	9
10	11	12	13	14	15	16
17	18	19	20	21	22	23
24	25	26	27	28	29	30

DICIEMBRE						
Lu	Ma	Mi	Ju	Vi	Sa	Do
1	2	3	4	5	6	7
8	9	10	11	12	13	14
15	16	17	18	19	20	21
22	23	24	25	26	27	28
29	30	31				

2015

ENERO						
Lu	Ma	Mi	Ju	Vi	Sa	Do
			1	2	3	4
5	6	7	8	9	10	11
12	13	14	15	16	17	18
19	20	21	22	23	24	25
26	27	28	29	30	31	

FEBRERO						
Lu	Ma	Mi	Ju	Vi	Sa	Do
						1
2	3	4	5	6	7	8
9	10	11	12	13	14	15
16	17	18	19	20	21	22
23	24	25	26	27	28	

MARZO						
Lu	Ma	Mi	Ju	Vi	Sa	Do
						1
2	3	4	5	6	7	8
9	10	11	12	13	14	15
16	17	18	19	20	21	22
23	24	25	26	27	28	29
30	31					

ABRIL						
Lu	Ma	Mi	Ju	Vi	Sa	Do
		1	2	3	4	5
6	7	8	9	10	11	12
13	14	15	16	17	18	19
20	21	22	23	24	25	26
27	28	29	30			

MAYO						
Lu	Ma	Mi	Ju	Vi	Sa	Do
				1	2	3
4	5	6	7	8	9	10
11	12	13	14	15	16	17
18	19	20	21	22	23	24
25	26	27	28	29	30	31

JUNIO						
Lu	Ma	Mi	Ju	Vi	Sa	Do
1	2	3	4	5	6	7
8	9	10	11	12	13	14
15	16	17	18	19	20	21
22	23	24	25	26	27	28
29	30					

JULIO						
Lu	Ma	Mi	Ju	Vi	Sa	Do
		1	2	3	4	5
6	7	8	9	10	11	12
13	14	15	16	17	18	19
20	21	22	23	24	25	26
27	28	29	30	31		

AGOSTO						
Lu	Ma	Mi	Ju	Vi	Sa	Do
					1	2
3	4	5	6	7	8	9
10	11	12	13	14	15	16
17	18	19	20	21	22	23
24	25	26	27	28	29	30
31						

SEPTIEMBRE						
Lu	Ma	Mi	Ju	Vi	Sa	Do
	1	2	3	4	5	6
7	8	9	10	11	12	13
14	15	16	17	18	19	20
21	22	23	24	25	26	27
28	29	30				

OCTUBRE						
Lu	Ma	Mi	Ju	Vi	Sa	Do
			1	2	3	4
5	6	7	8	9	10	11
12	13	14	15	16	17	18
19	20	21	22	23	24	25
26	27	28	29	30	31	

NOVIEMBRE						
Lu	Ma	Mi	Ju	Vi	Sa	Do
						1
2	3	4	5	6	7	8
9	10	11	12	13	14	15
16	17	18	19	20	21	22
23	24	25	26	27	28	29
30						

DICIEMBRE						
Lu	Ma	Mi	Ju	Vi	Sa	Do
	1	2	3	4	5	6
7	8	9	10	11	12	13
14	15	16	17	18	19	20
21	22	23	24	25	26	27
28	29	30	31			

Calendario de Pedraplén

SEPTIEMBRE							OCTUBRE						
Lu	Ma	Mi	Ju	Vi	Sa	Do	Lu	Ma	Mi	Ju	Vi	Sa	Do
1	2	3	4	5	6	7			1	2	3	4	5
8	9	10	11	12	13	14	6	7	8	9	10	11	12
15	16	17	18	19	20	21	13	14	15	16	17	18	19
22	23	24	25	26	27	28	20	21	22	23	24	25	26
29	30						27	28	29	30	31		

NOVIEMBRE							DICIEMBRE						
Lu	Ma	Mi	Ju	Vi	Sa	Do	Lu	Ma	Mi	Ju	Vi	Sa	Do
					1	2	1	2	3	4	5	6	7
3	4	5	6	7	8	9	8	9	10	11	12	13	14
10	11	12	13	14	15	16	15	16	17	18	19	20	21
17	18	19	20	21	22	23	22	23	24	25	26	27	28
24	25	26	27	28	29	30	29	30	31				

Fuente: Elaboración propia

A continuación, se presentará el calendario con los días practicables para los meses de cada actividad, que se evaluó.

Tabla 28: Días practicables por mes para Terraplén

Días practicables por mes para Terraplén																
2014					2015											
Ago.	Set	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago.	Set	Oct	Nov	Dic
25	26	25	24	25	26	24	26	24	25	25	25	26	26	26	25	25

Fuente: Elaboración propia

Tabla 29: Días practicables por mes para Pedraplén

Días practicables por mes para Pedraplén				
2014				2015
Set	Oct	Nov	Dic	Ene
26	25	24	25	26

Fuente: Elaboración propia

4.4.1.2. Jornal Semanal:

El jornal semanal es el periodo de tiempo en el cual se trabajará en el día a día, en el proyecto Matarani se considera de 10 horas de labor por día, de lunes a viernes y 5 horas los días sábados, en esta obra en la parte On Shore se trabajó con solo 1 turno para la actividad de plataformado. Siendo este el turno Diurno con un turno medio de 9.17 horas /día.

Tabla 30: Análisis de turno diurno

Días	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo	Total
Horas	10	10	10	10	10	5	0	55

Fuente: Elaboración propia

$$\text{Turno Medio} = \frac{\text{Total horas semanales}}{\text{Días}} \quad (8)$$

$$\text{Turno Medio} = \frac{55}{6} = 9.17 \text{ horas /día}$$

Cabe Resaltar que para el sistema de Zarandeado se consideró un turno nocturno con el fin de poder lograr generar el volumen requerido de material para el uso de este en el relleno del día consecuente ya que el volumen generado por esta no abastecerá la demanda con su rendimiento de 69.5 m³/h. Por ello la generación de este volumen será realizado por un turno nocturno. Obteniéndose así el volumen requerido. Este turno será el siguiente:

Tabla 31: Análisis de turno nocturno

Días	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo	Total
Horas	8	8	8	8	8	8	0	48

Turno Medio	8.00
-------------	------

4.4.2. Días de construcción:

Para el desarrollo de esta tabla se tomó el día de 9,17 horas laborables y el factor de multiplicidad de 1. Los rendimientos del terraplén en túnel y relleno de terraplén en estructura del Edificio de recepción Férrea CV fueron entregados por la misma Empresa Odebrecht.

Cabe resaltar que el periodo de trabajo en el horario nocturno, para la generación del material de zarandeo también se encuentra incluido en esta distribución del tiempo.

Tabla 32 : Comparativo en Días

Descripción	Umed	Metrado (m3)	TERRAPLEN		PEDRAPLEN		Diferencia (Días)
			Rendimiento (m3/día)	Duración (Días)	Rendimiento (m3/día)	Duración (Días)	
Relleno plataforma Vía Férrea CV	m3	13,581.80		50.0		19.0	31.0
Relleno plataforma Vía Férrea CV	m3	13581.80	275.1	50.0	733.6	19	31.0
Túneles		11481.21		209.0		46.0	163.0
Relleno de Estructuras (Túnel Recepción)	m3	7026.21	55.02	128.0	256.76	28	100.0
Relleno de Estructuras (Túnel Embarque)	m3	4455.00	55.02	81.0	256.76	18	63.0
Relleno Estructura Edificio de Recepción CV	m3	6,888.27		126.0		27.0	99.0
Relleno para Cimentaciones (Recepción Férrea)	h	6888.27	55.02	126.0	256.76	27	99.0
SUMA TOTAL		31,951.28		385.00		92.00	293.00

Fuente: Propia

4.5. Lecciones Aprendidas

- En todo momento es necesario hacer el seguimiento topográfico con respecto a los BM, puesto que estos puntos son los guías, que nos permiten tener la certeza sobre la ubicación de las estructuras espacialmente.
- En todo momento se debe buscar el cumplimiento de los hitos de la construcción. Sin embargo, la optimización utilizando un análisis de costo y planeamiento como herramientas siempre debe ser un objetivo ingenieril para desarrollar de maneras efectivas una obra, así como desarrollar e implementar nuevas tecnologías constructivas.
- La supervisión de la ejecución de los procesos en obra, deben ser exhaustivos para que se tenga una correcta realización de los mismo bajo los parámetros de control de calidad, puesto que cualquier falla en el proceso constructivo repercute en los frentes y trabajos están interrelacionados con otras actividades propias del puerto. Además, la aprobación de cada capa de relleno es muy importante ya que una capa de relleno mal realizada conllevaría una recompactación o un retiro de la misma capa; afectando así al proyecto.
- La liberación de los frentes con la anticipación por el control de calidad y la supervisión. Es un elemento que nos permite realizar la actividad con menos retrasos por esta naturaleza.
- En el caso de los paramentos, una buena rotulación y modulación de estos nos brindan un mejor control de estos en la colocación.
- El almacenado de los paneles y la correcta distribución de estas nos ayuda a que los paramentos no sean golpeados, y por lo tanto a incurrir a sobre costos por reparaciones de los mismos. En obra, el

almacenado de estos paneles se realizó en una zona contigua y de fácil acceso para el traslado de los paneles, asegurar el radio de giro para la maniobrabilidad del camión grúa nos brinda un mejor aprovechamiento de este equipo.

- Se debe tener mucho cuidado en la seguridad en la construcción de los muros de tierra armada, asimismo como en el pedraplén, debido a que la congestión de equipos presentes puede ocasionar un accidente.
- Para evitar caídas de personal es necesario instalar un sistema de barandas perimetral, que se colocarán a medida que el muro de tierra armada se eleva (Ver Anexo 4).
- Para los obreros que trabajaba con el vibroapisonador se le brindo protección metatarsal; debido a que; el uso constante del equipo de percusión genera un riesgo alto para los pies.
- También en los trabajos de tierra armada se colocó línea de vida a 50 centímetros del nivel de terreno con el fin de evitar caídas de los colaboradores.

5.

CAPITULO 5: CONCLUSIONES

- Al comparar el análisis de costo se presenta un beneficio de U\$ 307,726.440 al cambiar el proceso constructivo del terraplenado por el pedraplén. Gran parte de este beneficio se da debido al cambio del uso de material, que como se puede apreciar al comparar la fila de material de préstamo en el terraplén en el cual el costo es de 14.4 U\$S/m³ mientras que en el pedraplén este valor es de 7.83 U\$S/m³.
- La comparación en cuanto a los días a laborar resultó ser 293 días laborables menos, tiempo que representa un significativo avance de obra, ya que son de aproximadamente 10 meses y medio de ahorro en avance de obra para esta actividad.
- El seguimiento de los avances físicos y de costos deben ser exhaustivos y periódicos con el fin de obtener los márgenes de ganancias deseados, puesto que un reproceso genera impactos directos en ambas categorías.
- Cómo se puede apreciar del análisis de Bishop, el uso de muro de tierra armada con el pedraplén presenta una estabilidad superior a los parámetros mínimos del factor de seguridad; tanto en el análisis estático y pseudo estático, pues estos exigen como mínimo en FS de 1.5 para análisis estáticos y pseudo estáticos el valor de 1.125 obtenidos.
- Se concluye que un método viable para el control de la estabilidad de la roca Gneis fracturada será compuesta de 6 ciclos de pasadas de tractor, las cuales deben ser 3 longitudinales y 3 transversales a una velocidad de 6km/h para lograr alcanzar una estabilidad requerida y evitar asentamientos.
- Cómo se puede apreciar del Análisis de Bishop en el uso de muro de tierra armada con el Pedraplén presenta una estabilidad superior a los parámetros mínimos del factor de seguridad tanto en el análisis estático y pseudo estático. Estos exigen como mínimo un FS de 1.5 para análisis estáticos y para análisis pseudo estáticos el valor de 1.125.

- Para proyectos de gran envergadura es preferible siempre realizar un estudio sísmico más a detalle tanto del punto probabilístico como determinístico del sector a analizar debido a que, el alcance de la Norma E 030 de diseño sismo resistente no abarca para este tipo de estructuras.
- El comportamiento de las estructuras desarrolladas en el puerto Matarani tendrán como valor de referencia sísmica, de aceleraciones máximas de 0.58 g para el enfoque determinístico y 0.52g en el enfoque probabilístico, Además de tener un espectro de respuesta de aceleraciones horizontales máximas ante sismos básicos de Operación (OBE) de 0.33g.
- Para cada estructura se debe usar y evaluar con respecto al sismo que pueda afectarlo en su periodo de vida de la estructura y el cual debe compararse a su vez con respecto a la aceleración mínima especificada en la norma sismorresistente vigente.
- El Análisis de refracción sísmica y MASW-MAM realizado luego de la construcción de pedraplén con tierra armada, nos presenta que la conformación del pedraplén se encontraba compacto a muy compacto, con lo que podemos aseverar que se tendrá un buen comportamiento a lo largo de la vida útil y que los asentamientos posibles serían pequeños.
- En el desarrollo de proyectos del tipo EPC+ C el cliente solo nos presenta un proyecto base en el cual el constructor es el que se encargará de la ingeniería de detalle. De esta manera, se puede modificar el proyecto presentado por el cliente, siempre y cuando se sustente que la propuesta es mejor a la propuesta inicial y siempre que esta represente un beneficio para el proyecto.
- Para la construcción de muros de Tierra Armada no hay aún una normativa del estado, por el cual se usa la norma AASHTO LRDF.

6. BIBLIOGRAFIA:

- ALCAZAR, Lorena y LOVATON, Rodrigo. "La concesión de los puertos en el Perú: ¿Quién ganó y quién perdió con la concesión del puerto de Matarani?". Editorial: Consorcio de Investigación Económica y Social. Lima, 2003
- BEATO, Paulina. "Las reformas portuarias en Latinoamérica. Estudio de tres puertos". Editorial: BID. Washington D.C, 1996.
- BUSTOS, G. "Pliego de prescripciones técnicas generales para obras de carreteras y puentes" Editorial: Liteam. España., 2002.
- FRANKEL, E.G. "Port Planning and Development". Editorial: Wiley. New York, 1987.
- PAREDES, REYES R. A. "Planeamiento Integral De La Construcción De Una Presa De Tierra En El Departamento De Ayacucho." 2004
- SADIGH, K.; Chang, C.-Y.; Egan, J.A.; Makdisi, M y Youngs, R.R. (1997), "Attenuation Relationships for Shallow Crustal Earthquakes Based on California Strong Motion Data", Seismological Research Letters, BSSA, Volume 68, Number 1, January – February, 1997
- QUINN DE F, Alonso. "Design and Construction of Ports and Marine Structures. Editorial: McGraw-Hill. New York, 1961.
- YOUNGS, R.R.; Chiou S-J.; Silva, W. J. y Humphrey, J. R. (1997), "Strong Ground Motion Attenuation Relationships for Subduction Zone Earthquakes", Seismological Research Letters, BSSA, Volume 68, Number 1, January/February 1997.
- BENTOS SERVICIOS Y EQUIPOS. "Estudios Marinos Terminal Marítimo Bahía Islay". Informe técnico de medición de oleaje direccional. TISUR, 2012.
- JORGE E. ALVA HURTADO INGENIEROS E.I.R.L. "Estudio de Peligro Sísmico para el terminal portuario de Matarani". Arequipa, 2013.
- ODEBRECHT, "Metodología Constructiva: TISUR 900102MST00010", 2014

ODEBRECHT. "TISUR 140 041 CAL 30001 REV.2". Proyecto Matarani, 2014.

ODEBRECHT. "TISUR 140- 041 - SPC 3001". Proyecto Matarani, 2014

SOTELO Y ASOCIADOS. "Informe Geofísico Proyecto Matarani" Arequipa 2015.

AASHTO, L. R. F. D. Bridge design specifications. 2010.

FHWA. Design and Construction of Mechanically Stabilized Earth Walls and Reinforced Soil Slopes, 2009.

CISMID: Centro Peruano Japonés de Investigaciones Sísmicas y Mitigación de Desastres.2006

E.30 Diseño Sismoterrestres. Ministerio de Vivienda y Construcción, 2003.

MINISTERIO DE FOMENTO. "Pliego de Prescripciones Técnicas Generales para obras de carreteras y puentes(PG-3)". España, 2013.

MINISTERIO DE TRANSPORTES Y COMUNICACIONES." Especificaciones Técnicas Generales para Construcción" Lima, 2013.

ASTM INTERNATIONAL DESIGNATION: D4632. Standard Test Method for Grab Breaking Load and Elongation of Geotextiles, 2015.

ASTM INTERNATIONAL DESIGNATION: D4833. Standard Test Method for Index Puncture Resistance of Geomembranes and Related Products, 2015.

ASTM INTERNATIONAL DESIGNATION: D3786. Standard Test Method for Bursting Strength of Textile Fabrics- Diaphragm Bursting Strength Tester Method, 2015.

ASTM. INTERNATIONAL DESIGNATION: D3350: Standard Specification for Polyethylene Plastics Pipe and Fittings Materials" 2015.

ASTM INTERNATIONAL DESIGNATION: D4533, (2015). Standard Test Method for Trapezoid Tearing Strength of Geotextiles.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. "ISO 12956: Geotextiles and geotextile-related products -- Determination of the characteristic opening size".2010.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. "ISO 11058: Geotextiles and geotextile-related products -- Determination of water permeability characteristics normal to the plane, without load" 2010.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. "ISO 13433: Geosynthetics -- Dynamic perforation test (cone drop test)" 2006.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. "ISO 12958: Geotextiles and geotextile-related products -- Determination of water flow capacity in their plane" 2010.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. "ISO 10319: Geosynthetics -- Wide-width tensile test" 2015.

CLIMATE DATA. ORG. "Clima Matarani" Fuente: <https://es.climate-data.org/location/47181/>. Revisado el 18.12.2016.

MINISTERIO DE TRABAJO Y PROMOCIÓN DEL EMPLEO. "Descansos en días feriados de Construcción Civil 2015". Fuente: <http://www.mintra.gob.pe/mostrarTemaSNIL.php?page=2&codTema=32&t ip=20>. Revisado 06.06.2016.

7. GLOSARIO:

- Apoyos EPDM:

Los apoyos de EPDM (Etileno Propileno Dieno tipo M ASTM) son accesorios de montaje, compuestos por un termo polímero elastómero que tiene buena resistencia a la abrasión y al desgaste. La composición de este material contiene entre un 45% y 75% de etileno, siendo más resistente cuanto mayor sea este porcentaje. La finalidad de, estos elementos es absorber las deformaciones del subsuelo y asentamientos internos propios de la etapa de montaje y, durante la operación, permitir que no afecten a los paneles.

- Camisa:

Tipo de encofrado metálico seccionado y posteriormente soldado cuya función principal es recubrir el pilote para su vaciado in situ y que se desarrolle su profundidad total.

- Durmiente:

Los durmientes son elementos transversales fabricados de diversos materiales, madera, hierro y concreto que permiten conservar una distancia fija y mantener unidos los carriles de la vía, transmitiendo la carga al suelo. En el proyecto bajo análisis se utilizaron elementos de concreto de una sola pieza, es decir monobloques.

- Geotextil:

El Geotextil no tejido es fabricado a partir de fibras de polipropileno mediante un proceso de punzado por agujas, es altamente resistente a la degradación biológica y química que presentan los suelos.

La función del geotextil es la de permitir el paso del agua impidiendo la migración de los finos para no perder parte del relleno estructural que se encuentra detrás del muro de Tierra Armada.

- On Shore:

Término utilizado en los proyectos de construcción de puertos para referirse a los trabajos realizados en tierra firme.

- Off Shore

Término utilizado en los proyectos de construcción de puertos para referirse a los trabajos realizados en el mar.

- Paramentos frontales:

Paneles prefabricados mediante moldes metálicos especiales, según planos específicos para cada tipo, cuya resistencia a la compresión del concreto es de 35 Mapa. En el proyecto bajo análisis se utilizaron 5 tipos de paneles típicos para los muros de Tierra Armada tipo TerraSquare.

- Plancha compactadora:

Equipo liviano realizado para la compactación de suelos.

- Refuerzos GeoStrap

Geostrap® 5 es un refuerzo geosintético fabricado a partir de fibras de poliéster de alta tenacidad, agrupadas en pequeños canales revestidos con polietileno mediante un proceso de revestido por extrusión.

Estos elementos tienen un ancho de 50mm y son suministradas en rollos de 100 ml, su resistencia última a la tensión es de 37.5 kN. El peso por rollo promedio es de 39 kg.

- Solera de Nivelación:

La solera de nivelación tiene como misión exclusiva obtener una superficie nivelada y lisa que facilite el apoyo y montaje de la primera fila de paneles. Su geometría presenta una forma de L y su resistencia del concreto es del orden de 10 Mpa