



PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CHILE
ESCUELA DE INGENIERÍA

ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DE TALUDES. ACCESO ORIENTE A IQUIQUE.

YAN – SEN CHANG ELGUETA

Informe de Actividad de Graduación para optar al Grado de
Magíster en Ingeniería Estructural y Geotécnica

Profesor Supervisor:
FERNANDO RODRÍGUEZ ROA

Santiago de Chile, junio, 2016.

Dedicado a mi madre, abuela e hijos,
gracias por su apoyo incondicional.

AGRADECIMIENTOS

A mi Profesor Sr. Fernando Rodríguez, quien me ha guiado y aconsejado para el desarrollo de la presente Memoria de Título.

Laboratorio Nacional de Vialidad:

- Sra. Gabriela Muñoz.
- Sr. Gabriel Palma.

Ministerio de Obras Públicas a nivel Central:

- Sr. Eduardo Aravena.
- Sr. Patricio Pacheco.

Empresa de Ingeniería PIDDO:

- Sr. Jorge Piddo.
- Sr. Patricio Dubó.
- Sr. Héctor Pereira.
- Sr. Francisco Sasmay.

Empresa Emin:

- Sr. Alejandro Méndez.
- Sr. Pablo Carrillo.

INDICE GENERAL

	Pág.
DEDICATORIA.....	ii
AGRADECIMIENTOS	iii
INDICE DE TABLAS	vi
INDICE DE FIGURAS.....	vii
INDICE DE GRÁFICOS	viii
RESUMEN.....	ix
ABSTRACT	x
I. ANTECEDENTES GENERALES	11
I.1 Introducción	11
I.2 Objetivos	12
I.3 Análisis Morfológico del Área de Estudio.....	13
II. ANALISIS DE ANTECEDENTES RECOPIRADOS	17
II.1 Informe Daño Terremoto Cuesta Pampino. Sacyr	17
II.2 Exploración por medio de Calicatas. Asistecsa y Sacyr	25
II.2.1 Prospección de calicatas. Asistecsa y Sacyr.....	25
II.2.2 Ensayo laboratorio de calicatas. Asistecsa y Sacyr	27
II.3 Exploración por medio de Sondajes. Geo Soil Drill	28
II.4 Informe de Suelos Salinos entre Iquique y Alto Hospicio. Sernageomin	30
III. METODOLOGÍA APLICADA Y CRITERIOS DE DISEÑO	34
III.1 Criterios de Diseño.....	34
III.1.1 Geometría de corte	34
III.1.2 Parámetros geotécnicos	35
III.1.3 Retro-análisis.....	36
III.1.4 Criterios de diseño para reforzamientos.....	38
III.2 Metodología Aplicada.....	39
III.2.1 Soil Nailing para estabilidad de taludes	39

III.2.2 Muros mecánicamente estabilizados	45
IV. CONCLUSIONES	57
IV.1 Conclusiones Situación sin Proyecto (pos-sismo).....	57
IV.2 Conclusiones Situación con Proyecto.....	58
BIBLIOGRAFIA.....	61
A N E X O S.....	62
Anexo A: Registro de Exploración Ruta 16 alto Hospicio	63
Anexo B: Informe de Ensayo de Laboratorio	74
Anexo C: Informe de Sondajes Geotécnico	102
Anexo D: Ficha Técnica de Geomallas Uniaxiales.....	109
Anexo E: Diseño Estructural de Detalle, para Muros Mecánicamente Estabilizado	112
Anexo F: Situación sin Proyecto. Talud Natural.....	142
Anexo G: Situación con Proyecto. Modelaciones con Refuerzos para el Estudio de Análisis Estático y Pseudo-Estático.....	150

INDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla II-1: Profundidad de calicatas realizadas	25
Tabla II-2: Calicata Iquique.	32
Tabla II-3: Calicata Alto Hospicio – Planta Tratamiento.	32
Tabla II-4: Calicata Alto Hospicio – Caliche.....	32
Tabla III-1: Parámetros geotécnicos de diseño	35
Tabla III-2: Resultados de refuerzos para muro mecánicamente estabilizado.....	56

INDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1-1: Croquis geomorfológico sector de Iquique.	14
Figura 1-2: Mapa geológico de Chile. Extracto del área de estudio.	15
Figura 1-3: Vista general en planta del área de estudio.	16
Figura 1-4: Vista general transversal del área de estudio.	16
Figura 2-1: Ruta A-16. Cuesta Pampino Dm 45.200 m.	19
Figura 2-2: Ruta A-16. Cuesta Pampino Dm 45.130 m.	20
Figura 2-3: Ruta A-16. Cuesta Pampino Dm 45.000 m.	21
Figura 2-4: Ruta A-16. Cuesta Pampino Dm 44.800 m.	22
Figura 2-5: Ruta A-16. Cuesta Pampino Dm 44.000 m.	23
Figura 2-6: Ruta A-16. Cuesta Pampino Dm 43.960 m.	24
Figura 2-7: Falla tirantes de acero. Muros mecánicamente estabilizados. Dm 43.960 m... 24	24
Figura 2-8: Sondajes seleccionados. Geo Soil Drill.....	29
Figura 2-9: Calicatas para determinar SS. Sernageomin.....	31
Figura 3-1: Perfil Transversal Tipo.....	35
Figura 3-2: Diagrama de fuerzas estáticas.	46
Figura 3-3: Distancia entre refuerzos.....	48
Figura 3-4: Diagrama de fuerzas, análisis pseudo-estático.	50
Figura 3-5: Fuerza por carga sísmica (P_i).	52

INDICE DE GRÁFICOS

	Pág.
Gráfico III-1: Pre-diseño. Soil Nailing.....	40
Gráfico III- 2: Corrección por diámetro de perforación C_{1L}	41
Gráfico III- 2: Corrección por diámetro de perforación C_{1F}	43

RESUMEN

La presente memoria de título se basa en los distintos eventos telúricos de marzo y abril de 2014 en la provincia de Iquique, ruta 16, calzada sur con dirección Alto Hospicio, entre los Dm 44.040 m al Dm 45.600 m, sector más afectado sísmicamente, tanto en la infraestructura como superestructura vial. Las soluciones propuestas y desarrolladas, integran una recopilación de información de índole geotécnica y estructural, con el objetivo de identificar los motivos, razón o circunstancias de la precaria estabilidad global de la estructura producto del sismo. Una vez identificado dichas variables, se establecen condiciones de borde, para el correcto desarrollo de los distintos diseños propuestos.

El diseño propuesto para la estabilidad del talud (infraestructura vial) consiste en un sistema de refuerzo claveteado (Soil Nailing) y para la plataforma vial (superestructura vial), un muro mecánicamente estabilizado, con refuerzos de polietileno de alta densidad (HDPE).

Las distintas soluciones fueron modeladas a través de un programa computacional para determinar su coeficiente de seguridad estático y pseudo - estático, antes y después de los eventos telúricos.

ABSTRACT

This thesis title is based on the various telluric events of March and April 2014 in Iquique province, Route 16, south road towards Alto Hospicio, between the Dm 44.040 and Dm 45.600 m, the most affected sector by the seismically events both road infrastructure and road superstructure. The proposed and developed solutions integrate a collection of information of geotechnical and structural nature, in order to identify the reasons why or circumstances of the precarious overall stability of the structure product of the earthquake. Once identified these variables, boundary conditions are established, for the correct development of the different proposed designs.

The proposed slope stability (road infrastructure) design consists of a reinforcement system spiked (Soil Nailing) and for road platform (road superstructure), a wall mechanically stabilized, with reinforcements high density polyethylene (HDPE).

The different solutions were modelled through a program computer to determine the coefficient of static security and dynamic, before and after the telluric events.

I. ANTECEDENTES GENERALES

I.1 Introducción

Producto del gran sismo ocurrido, el 1 de Abril de 2014 a las 20: 46, hora local, en la zona norte de Chile con magnitud de 8.3 grados según escala de Richter, su epicentro fue a 83 kilómetros al noroeste de Iquique a 20.1 Km de profundidad, con duración de tres minutos aproximadamente, seguido de varias decenas de réplicas, incluida una de 7,6 grado según escala de Richter el 2 de abril de 2014 a las 23:43, hora local, con epicentro a 45 kilómetros al suroeste de Iquique. Los movimientos telúricos generaron importantes daños en la Ruta 16, específicamente en el tramo que conecta las comunas de Iquique y Alto Hospicio, I Región de Tarapacá, el cual ha provocado restringir y modificar el tránsito por la vía, dicha acción implica un alto peligro referente a la seguridad vial para el tránsito permanente del tramo afectado, sumando la inestabilidad de la infraestructura del camino.

Los daños que se han presentado tanto en la calzada oriente y poniente, son principalmente desprendimientos de material, deslizamientos de suelo y grietas, sobre y bajo la estructura vial.

En base a la información consistente de calicatas realizadas por Asistecsa y sondajes realizados por Geo Soil Drill, para el tramo comprendido entre el Dm 44.040 al Dm 45.600, calzada sur con dirección Alto Hospicio (sector más dañado por los movimientos telúricos), se ha preparado la presente memoria de título.

I.2 Objetivos

Los objetivos principales de la presente memoria de título son:

- Diagnosticar y evaluar el nivel de estabilidad y seguridad de los taludes posterior al sismo.
- Determinar un tipo de solución estructural, para aumentar la plataforma vial.
- Determinar un sistema de reforzamiento apropiado para aumentar y cumplir las normativas exigidas en relación a los coeficientes de seguridad estático y pseudo – estático para la estabilidad de taludes.
- Determinar las protecciones adecuada para la infraestructura vial proyectada, contra la corrosión agresiva del suelo salino, ambiente costero y la erosión producto del viento.

I.3 Análisis Morfológico del Área de Estudio

Iquique se encuentra ubicado sobre una terraza costera en la zona litoral de la Región de Tarapacá, donde la cordillera de la costa cae de forma abrupta hacia el mar a lo largo de un frente de fallas denominado Farellón Costero.

En esta zona se produce la convergencia entre la placas de Nazca y Sudamericana, lo que ha condicionado la evolución geológica de los suelos de Iquique, provocando que estos sean el resultado de la interacción de procesos de transgresiones y regresiones marinas, alternantes con procesos volcánicos y sísmicos.

La génesis del litoral en la zona de Iquique, cuenta con más de una hipótesis [1]. Una de ellas indica que el litoral o planicie ubicada entre el mar y la cordillera de la costa es el resultado del solevantamiento tectónico de esta última durante el Terciario. Otra hipótesis indica que el litoral es una gran plataforma de abrasión. A continuación, se muestra la figura 1-1 sobre un esquema de la geomorfología del sector [2].

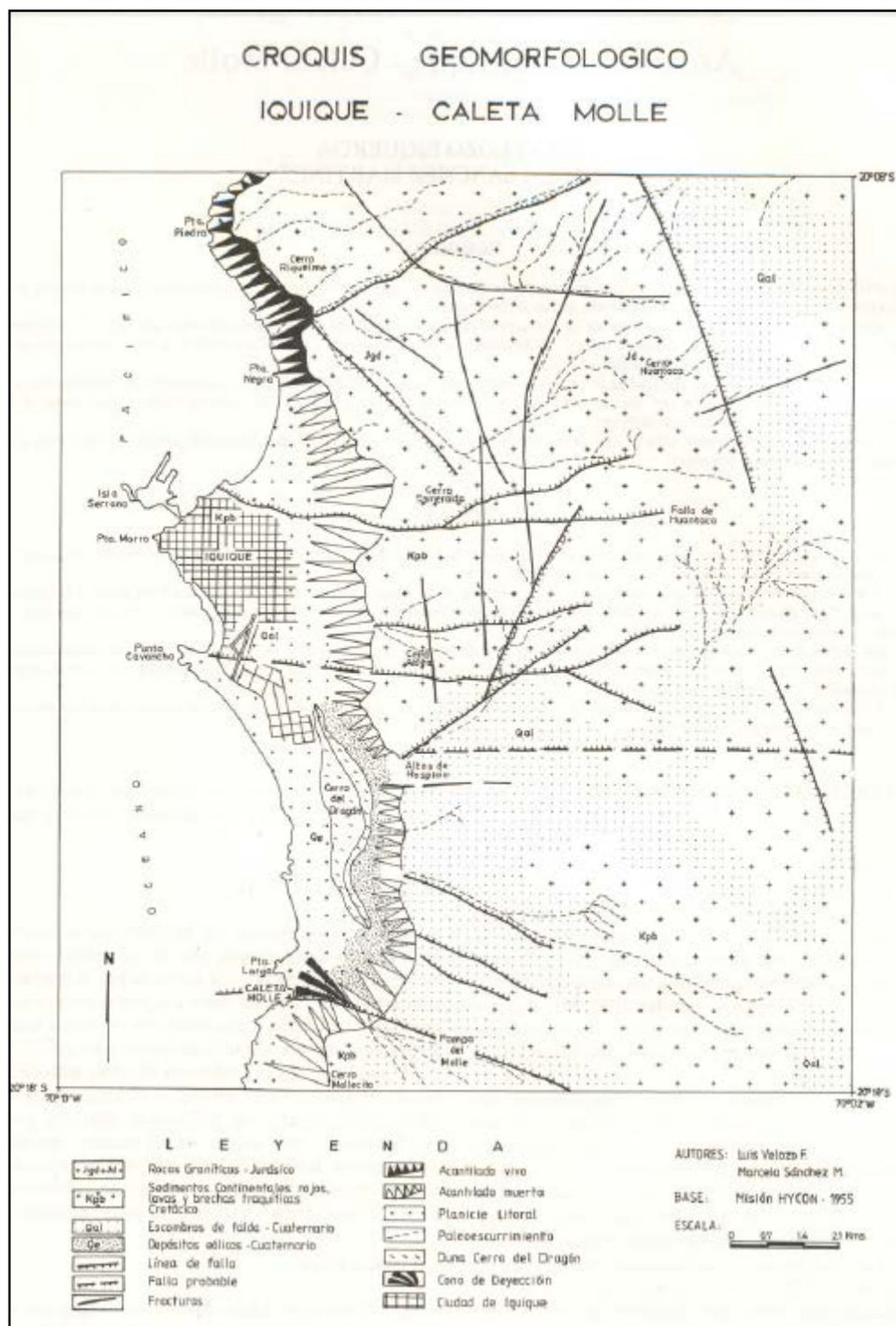


Figura 1-1: Croquis geomorfológico sector de Iquique.

De acuerdo al mapa geológico de Chile, ver figura 1-2, se distingue que el principal tipo de depósito que se encuentra sobre el camino que conecta Iquique con Alto Hospicio, son secuencias sedimentarias consistentes en conglomerados y areniscas.

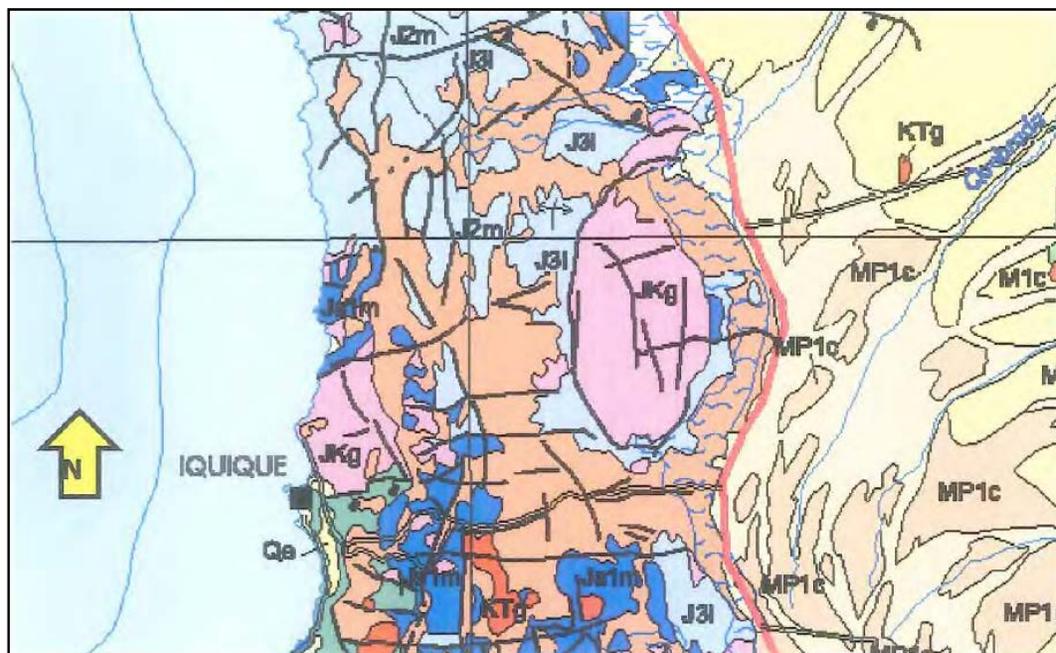


Figura 1-2: Mapa geológico de Chile. Extracto del área de estudio.

El tramo en estudio (Dm 44.040 al Dm 45.600), se ubica por el talud del Farellón y se encuentra fundado sobre un relleno antrópico granular de espesor variable y bajo el cual el suelo está compuesto principalmente por mezclas de depósitos de tipo eólicos, grava arenosa y arenas con fuerte presencia de sal. La carretera se desarrolla a través de taludes conformados por cortes y terraplén, donde estos últimos, poseen una pendiente natural de reposo, en torno a los 27° y 37° con respecto a la horizontal proyectada.



Figura 1-3: Vista general en planta del área de estudio.



Figura 1-4: Vista general transversal del área de estudio.

II. ANALISIS DE ANTECEDENTES RECOPIADOS

A continuación se presenta un análisis de antecedentes recopilados, conformados por una evaluación de daños pos-terremoto en la Cuesta Pampino realizado por Sacyr. Exploraciones de suelos conformados por calicatas realizadas por Asistecsa y Sacyr. Exploraciones de suelos conformados por sondajes realizados por Geo Soil Drill y finalmente, un estudio realizado por Sernageomin (Ministerio de Minería) sobre suelos salinos entre Iquique y Alto Hospicio.

II.1 Informe Daño Terremoto Cuesta Pampino. Sacyr

Los daños producidos por los distintos movimientos telúricos desde marzo hasta abril de 2014, han generados graves daños en la Cuesta Pampino quedando dicha infraestructura cortada al tránsito por derrumbes y presencia de grietas.

Los principales daños que se han detectado en la infraestructura son:

1. Falla en talud por deslizamiento traslacional.
2. Falla en talud por deslizamiento rotacional.
3. Desprendimiento en talud.
4. Falla de malla contención existente en talud.
5. Fisuración de shotcrete en talud.
6. Desprendimiento de placas en muro de tierra armada.

Todas estas fallas de carácter geotécnico y generalmente asociados a fallas de estabilidad en los taludes de la Cuesta Pampino, han generado graves daños en las calzadas de subida y bajada a Alto Hospicio; mencionado entre otros:

1. Grietas en calzadas.
2. Escalón en calzada.
3. Fisuras en calzada.
4. Deformaciones en la calzada.
5. Daños en pavimento por desprendimiento de materiales.
6. Barreras de contención dañadas.
7. Luminarias dañadas.

A continuación se presentan algunas imágenes más relevantes, con comentarios técnicos, que denotan la gravedad del sismo ocurrido en Abril de 2014 en la Cuesta Pampino, dentro del tramo en estudio (Dm 44.040 al Dm 45.600):

Localización	
Ruta	A- 16
Sector	Cuenta Pampino
Calzada	Izquierda (subida Alto Hospicio)
Dm	45.200 m



Figura 2-1: Ruta A-16. Cuesta Pampino Dm 45.200 m.

Descripción daño Infraestructura	
x	Pavimento Escalón eje calzada.
x	Berma Grieta borde pavimento.
x	Barrera contención Barrera metálica desplazada.
	Iluminación
	Sistema contención
	Estructura
	Señalización
	Otros

Causa Daño	
x	Deslizamiento talud rotacional
	Deslizamiento talud traslacional
	Desprendimiento material talud
	Falla sistema contención
	Otros

Comentarios Técnicos:

Debido a un desplazamiento rotacional en el talud, se genera un escalón en el eje de la calzada y pista derecha, además se observa grieta en el borde del pavimento que a su vez genera el desplazamiento de la barrera metálica doble onda.

Localización	
Ruta	A- 16
Sector	Cuenta Pampino
Calzada	Izquierda (subida Alto Hospicio)
Dm	45.130 m



Figura 2-2: Ruta A-16. Cuesta Pampino Dm 45.130 m.

Descripción daño Infraestructura	
x	Pavimento Escalón eje calzada.
x	Berma Escalón borde calzada.
x	Barrera contención Barrera metálica desplazada.
	Iluminación
	Sistema contención
	Estructura
	Señalización
	Otros

Causa Daño	
x	Deslizamiento talud rotacional
	Deslizamiento talud traslacional
	Desprendimiento material talud
	Falla sistema contención
	Otros

Comentarios Técnicos:

Debido a un desplazamiento rotacional en el talud, se genera un escalón en el eje de la calzada y pista derecha, además se observa grieta en el borde del pavimento que a su vez genera el desplazamiento de la barrera metálica doble onda.

Localización	
Ruta	A- 16
Sector	Cuenta Pampino
Calzada	Izquierda (subida Alto Hospicio)
Dm	45.000 m



Figura 2-3: Ruta A-16. Cuesta Pampino Dm 45.000 m.

Descripción daño Infraestructura		
x	Pavimento	Escalón eje calzada.
x	Berma	Escalón borde calzada.
x	Barrera contención	Barrera metálica desplazada.
	Iluminación	
	Sistema contención	
	Estructura	
	Señalización	
	Otros	

Causa Daño	
x	Deslizamiento talud rotacional
	Deslizamiento talud traslacional
	Desprendimiento material talud
	Falla sistema contención
	Otros

Comentarios Técnicos:

Debido a un desplazamiento rotacional en el talud, se genera un escalón en el eje de la calzada y pista derecha, además se observa grieta en el borde del pavimento que a su vez genera el desplazamiento de la barrera metálica doble onda.

Localización	
Ruta	A- 16
Sector	Cuenta Pampino
Calzada	Izquierda (subida Alto Hospicio)
Dm	44.800 m



Figura 2-4: Ruta A-16. Cuesta Pampino Dm 44.800 m.

Descripción daño Infraestructura	
x	Pavimento Grieta mediana y transversal.
x	Berma Grieta borde calzada.
x	Barrera contención Barrera hormigón desplazada.
	Iluminación
	Sistema contención
	Estructura
	Señalización
	Otros

Causa Daño	
	Deslizamiento talud rotacional
x	Deslizamiento talud traslacional
	Desprendimiento material talud
	Falla sistema contención
	Otros

Comentarios Técnicos:

Debido a un desplazamiento traslacional en el talud, se genera una grieta en la mediana y otra grieta transversal a la calzada, desplazando la defensa tipo F de hormigón.

Localización	
Ruta	A- 16
Sector	Cuenta Pampino
Calzada	Izquierda (subida Alto Hospicio)
Dm	44.000 m



Figura 2-5: Ruta A-16. Cuesta Pampino Dm 44.000 m.

Descripción daño Infraestructura		
x	Pavimento	Grieta eje calzada.
x	Berma	Grieta borde calzada.
x	Barrera contención	Barrera metálica desplazada.
	Iluminación	
	Sistema contención	
	Estructura	
	Señalización	
	Otros	

Causa Daño	
	Deslizamiento talud rotacional
x	Deslizamiento talud traslacional
	Desprendimiento material talud
	Falla sistema contención
	Otros

Comentarios Técnicos:

Debido a un desplazamiento traslacional en el talud, se genera una grieta en el borde y eje de la calzada derecha, además de producir un desplazamiento a la barrera metálica doble onda.

Falla de Muros Mecánicamente Estabilizado



Figura 2-6: Ruta A-16. Cuesta Pampino Dm 43.960 m.



Figura 2-7: Falla tirantes de acero. Muros mecánicamente estabilizados. Dm 43.960 m.

Comentarios Técnicos:

Debido a un deslizamiento traslacional en el talud, se genera una grieta en el terreno próximo a la cimentación de un muro de tierra armada.

II.2 Exploración por medio de Calicatas. Asistecsa y Sacyr

II.2.1 Prospección de calicatas. Asistecsa y Sacyr

Durante el mes de abril de 2014, personal de Sacyr con supervisión de Asistecsa han ejecutado una campaña de exploración a través de 4 calicatas de 2 a 5 m de profundidad ubicadas de acuerdo al siguiente detalle:

Tabla II-1: Profundidad de calicatas realizadas

UBICACIÓN (PK)	PROFUNDIDAD (m)
44.080	1.8
44.900	4.5
45.140	5.0
45.520	4.3

Las calicatas han sido ejecutadas a nivel del eje rasante y en la calzada del costado izquierdo de la vía, incluida la carpeta de pavimento, que normalmente corresponde a la calzada de subida entre Rotonda El pampino y Alto Hospicio. Según muestreo para el sector se tiene una estratigrafía del suelo que se puede definir en 4 unidades principales:

Unidad U1: Capa asfáltica de 12 cm aproximados de espesor.

Unidad U2: Base granular chancada de 15 a 40 cm de espesor.

Unidad U3: Suelo de relleno areno limoso de color café claro, con presencia de gravas angulares dispersas de 2” a 4” de tamaño máximo. En general, la humedad es muy baja, no se aprecia grado de plasticidad y el grado de compacidad va de suelto a medianamente firme. Existen indicios de cementación, pero es muy débil. El espesor de este estrato posee un rango de variación entre 0.2 m a 1.9 m de profundidad.

Unidad U4: Suelo arenoso fino de color café claro, con presencia de gravas angulares dispersas de 2” a 5” de tamaño máximo. El contenido de humedad es de bajo a medio, la plasticidad es nula, la graduación es pobre y la cementación débil. La compacidad es firme y aumenta a medida que se profundiza. La profundidad de este estrato es indefinido y se visualizó hasta los 5.0 m, correspondiente a la profundidad máxima de las calicatas realizadas.

En el periodo de exploración, no se detecta la presencia de una napa freática subterránea en ninguna prospección realizada.

En **ANEXO A:** “Registro de Exploración Ruta 16 alto Hospicio” se encuentran los registros estratigráficos de dichas prospecciones y fotografías correspondientes

II.2.2 Ensayo laboratorio de calicatas. Asistecsa y Sacyr

Las clasificaciones de las muestras fueron realizadas en el laboratorio de faena de la empresa Sacyr. Los resultados son los siguientes:

Unidad U3: Del análisis granulométrico a las muestras extraídas se observa que el mayor porcentaje de las muestras queda retenido entre el tamiz n°4 y n°200 aproximadamente 71% del total de la muestra, y bajo este último tamiz, el material fino es en promedio de 7%.

Con respecto a los resultados de plasticidad, la totalidad de muestras no presentaron esta cualidad. Por tanto, las muestras clasifican según el sistema U.S.C.S. como arenas limosas y arenas limosas mal graduadas, SM y SP-SM.

La humedad natural encontrada fue muy baja, en promedio del 3% mientras que la densidad natural promedia 1.78 (gr/cm³).

Unidad U4: Del análisis granulométrico a las muestras extraídas se observa que el mayor porcentaje de las muestras queda retenido entre el tamiz n°4 y n°200 aproximadamente 68% del total de la muestra, y bajo este último tamiz, el material fino es en promedio de 3%.

Con respecto a los resultados de plasticidad, la totalidad de muestras no presentaron esta cualidad. Por tanto, las muestras clasifican según el sistema U.S.C.S. como arenas y gravas mal graduadas, SP y GP.

La humedad natural encontrada fue muy baja, en promedio del 3% mientras que la densidad natural promedia 1.69 (gr/cm³).

Del ensayo Proctor modificado se observa que el contenido de humedad óptimo para lograr la máxima compactación seca es del orden de 7%. Mientras que la densidad

compactada en promedio es de 1.842 (t/m³) y la capacidad portante CBR al 95% de esta densidad es del orden de 43%.

En **ANEXO B**: “Informe de Ensayo de Laboratorio”, se encuentran los registros de dichos ensayos [3].

II.3 Exploración por medio de Sondajes. Geo Soil Drill

La empresa Geo Soil Drill por petición de Axioma se realizó una serie de trabajos de exploración en base a sondajes geotécnicos a diferentes profundidades para determinar el índice de penetración estándar (SPT). Dichos sondajes se realizaron de forma paralelo a la Ruta – 16 a media ladera aproximadamente del terraplén que forma parte de la Cuesta Pampino, el objetivo de ese estudio es generar un camino alternativo a la ruta 16. De los sondajes realizados, sólo se extraen los que se encuentran relativamente cercas del área de estudio comprendido entre los Dm 44.040 m al Dm 45.600 m. La diferencia de cotas entre la Ruta 16 (área de estudio) y los sondajes seleccionados, fluctúan en torno a 10 metros de altura. A continuación se presenta el emplazamiento del área de estudio (color amarillo indicando distancias acumuladas) y sondajes seleccionados (color azul).

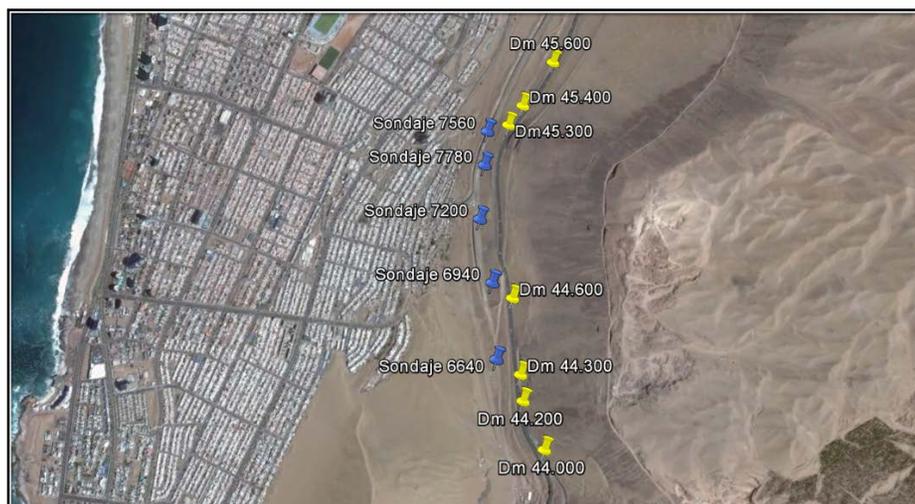


Figura 2-8: Sondajes seleccionados. Geo Soil Drill

Según muestreo de los cinco sondajes seleccionados para el área de estudio, se tiene una estratigrafía del suelo que se puede definir en dos unidades principales:

Unidad U1: El espesor de este estrato posee un rango de variación entre 0.0 m a 9.0 m de profundidad aproximadamente. Arena con bajo contenido de limo, color café claro, tamaño fino, humedad baja, compacidad media a alta, Presenta lentes de limo en forma aislada. Presenta gravilla de forma aislada.

Unidad U2: El espesor de este estrato posee un rango de variación entre 9.0 m a 16.0 m de profundidad aproximadamente. Arena con bajo contenido de limo, color café claro con matices de color amarillo, tamaño fino, humedad media, compacidad muy alta, Presenta lentes de limo en forma aislada, color rojizo, estado semi-cementado.

Por lo tanto, al comparar los resultados de calicatas de la Unidad U4 (estrato que alcanza una profundidad de 5 metros) versus sondajes, se puede estimar que el subsuelo que forma el terraplén de la Cuesta Pampita, es de un tipo de material homogéneo, para el área de estudio previamente definido.

En **ANEXO C**: “Informe Sondajes Geotécnicos” se encuentran los resultados de las distintas exploraciones, más los perfiles estratigráficos de cada sondaje.

II.4 Informe de Suelos Salinos entre Iquique y Alto Hospicio. Sernageomin

Sernageomin [4], realiza un estudio sobre “Información Geológica de la Comuna de Alto Hospicio” en agosto de 2014, donde dicha información es muy relevante para dar solución y respuesta a las fallas de muro mecánicamente estabilizados con tirantes de acero, dado que existe un porcentaje de sales solubles en las arenas muy corrosivas para este tipo de solución estructural. El argumento que establece el informe de Sernageomin referente a la existencia de sales solubles, se cita a continuación:

“Una característica sobresaliente de la secuencia de gravas y arenas, es que se encuentran fuertemente cementadas por sales solubles. Observaciones hechas por los autores, constan de niveles en que el material clástico ha sido completamente desplazado durante el proceso de formación de suelo. Esta fuerte cementación podría ser explicada mediante el transporte de aguas subterráneas a través de fracturas y estructuras de orientación este –oeste y en menor proporción, por la percolación y disolución de costras salinas precipitadas en superficie.”

El objetivo del estudio de Sernageomin, es determinar cuándo un suelo es colapsible por la disolución de sales solubles (SS) existentes entre Iquique y Alto Hospicio. Lo anterior, se realiza con tres calicatas de distintas profundidades, una de ellas fue ubicada en Iquique y las otras dos restantes en Alto Hospicio. A continuación se presenta la ubicación de las tres calicatas (color verde), ver figura 2-9.



Figura 2-9: Calicatas para determinar SS. Sernageomin

El criterio considerado para determinar la colapsabilidad del suelo es, si el contenido de sales solubles (SS) es menor a un 2%, implica que el suelo no colapsará por disolución de sales solubles, en el escenario que sea mayor al 2%, el suelo colapsará por la disolución de sales solubles. Los ensayos realizados para determinar el contenido de sales solubles de las muestras fueron mediante lixiviación acuosa. A continuación se presentan los resultados obtenidos para determinar el contenido de sales solubles:

Tabla II-2: Calicata Iquique.

Calicata Iquique		
Profundidad Calicata (m)		Sales solubles (SS) Totales (%). SS < 2%
De	A	
1.00	1.10	0.46
1.50	1.65	0.49
2.00	2.15	0.22
2.50	2.65	0.45
3.00	3.15	0.20

Tabla II-3: Calicata Alto Hospicio – Planta Tratamiento.

Calicata Alto Hospicio - Planta Tratamiento		
Profundidad Calicata (m)		Sales solubles (SS) Totales (%). SS > 2%
De	A	
0.00	0.50	7.19
0.50	1.00	3.80
1.00	1.50	5.51
1.50	2.00	4.89
2.00	2.50	3.30
2.50	3.00	4.82

Tabla II-4: Calicata Alto Hospicio – Caliche.

Calicata Alto Hospicio - Caliche		
Profundidad Calicata (m)		Sales solubles (SS) Totales (%). SS > 2%
De	A	
0.00	0.50	6.77
0.50	1.00	19.95
1.00	1.50	20.35

Los resultados obtenidos implica para la presente memoria de título que el área de estudio que corresponde al tramo de la ruta 16, con dirección Alto Hospicio, entre los Dm 44.040 m al Dm 45.600 m, se puede determinar como un tipo de suelo con contenido de sales solubles menor al 2%, vale decir, suelos no colapsibles por disolución de sales solubles. Por lo tanto y en base a los lineamientos metodológicos de IDIEM, se recomienda un diseño tradicional de fundaciones, considerando y teniendo presente, que el suelo existente, posee un porcentaje de sales solubles y de igual forma verificar la colapsabilidad de suelos finos y arenoso limoso secos porosos, mediante los criterios tradicionales (Gibbs, 1961, IDIEM, 2010).

III. METODOLOGÍA APLICADA Y CRITERIOS DE DISEÑO

La metodología aplicada y criterios de diseño, se presentan a continuación, para una solución de estabilidad de talud y otra distinta para ampliar la plataforma vial existente, dichas soluciones se basan en refuerzos del tipo soil nailing para taludes y muros mecánicamente estabilizados para la plataforma vial, ésta última solución, debe abordar un tipo de refuerzo no tradicional (muro de tierra armada con tirantes de acero), dado que la corrosión existente del suelo por sales solubles, cloruros y sulfatos que poseen los distintos estratos que conforman el sub-suelo de la ruta 16, establece una condición de borde importante para el diseño.

III.1 Criterios de Diseño

III.1.1 Geometría de corte

De acuerdo a los levantamientos topográficos emitidos por Sacyr, se identifica un **perfil transversal tipo**, a lo largo del trazado afectado, consistente en un corte con altura sobre los 30 m e inclinación aproximada de 1:2 (H:V), continuado por la plataforma horizontal del camino y ancho aproximado de 20 m, luego viene una zona de transición entre la calzada horizontal y el talud natural de unos 2 m de espesor. Finalmente el corte toma el talud natural de reposo (33° aprox.). También se identifican las grietas producto de los sismos ocurrido en abril de 2014. A continuación se presenta la figura: 3-1 donde muestra el perfil transversal tipo.

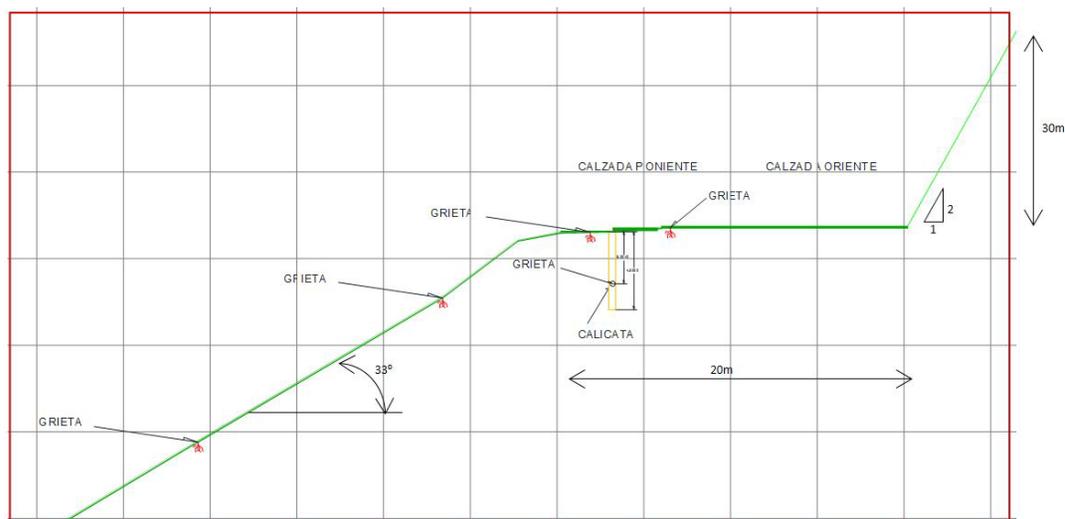


Figura 3-1: Perfil Transversal Tipo.

III.1.2 Parámetros geotécnicos

Para la elección de los parámetros de análisis se adoptan criterios en base a la experiencia adquirida en este tipo de análisis y que permiten establecer que los valores sean concordantes y representativos del tipo de material existente.

Tabla III-1: Parámetros geotécnicos de diseño

Tramo	Estrato Suelo	Peso Unitario (Kg/m ³)	Cohesión (Kg/cm ²)	Ángulo de Fricción (°)
Dm 44.000-44.140	U3: Areno limoso	1800	0.1	32
	U4: Arenoso	1700	0.0	33
Dm 44.800-44.920	U3: Areno limoso	1800	0.1	32
	U4: Arenoso	1700	0.0	33
Dm 45.110-45.190	U3: Areno limoso	1800	0.1	32
	U4: Arenoso	1700	0.0	33
Dm 45.500-45.650	U3: Areno limoso	1800	0.1	32
	U4: Arenoso	1700	0.0	33

III.1.3 Retro-análisis

Con los antecedentes geométricos señalados se ha realizado un retro-análisis con el objetivo de ajustar el rango de los parámetros de corte involucrados al momento de la falla, para el cual, se toman las siguientes consideraciones:

1. Debido a las características de los materiales en análisis, granulares arenosos y medianamente compactos, se ha establecido una superficie de falla circular con un comportamiento de rotura lineal Mohr-Coulomb¹⁷⁷³. Para esto se empleó un modelo bidimensional analizado mediante la metodología general de equilibrio límite de Morgenstern-Price.
2. Para la condición sísmica se ha considerado un análisis pseudo-estático utilizando el 50% de la aceleración efectiva máxima. Si bien los registros preliminares de la Universidad de Chile indican que para este sismo la aceleración horizontal alcanzó 0.32 g, para este análisis se ha considerado la aceleración máxima indicada para la zona sísmica 3, la cual es de 0.4g, implicando un coeficiente de aceleración horizontal, C_H igual a 0.2.
3. Para la agitación sísmica vertical y de acuerdo a criterio de Marcuson¹⁹⁸¹, se sugiere tomar 1/2 de C_H para el coeficiente de aceleración vertical, sin embargo, después del sismo del 27 de febrero de 2010, se recomienda adoptar un C_v igual al 75% de C_H por tanto, se ha adoptado un valor de C_v igual a 0.15. También la componente vertical para la modelación, se considera actuando hacia arriba, dirección más desfavorable. En resumen, se adoptan los siguientes criterios para:

- Análisis de estabilidad de taludes: coeficiente pseudo-estático 0,15 en sentido horizontal y 0,20 en sentido vertical (positivo).
 - No se considera la parte sísmica para el sistema claveteado en taludes.
 - Muros mecánicamente estabilizados: No se considera componente vertical de 0,32g.
4. Según mediciones de campo, la densidad del terreno está en el orden de 1.8 (gr/cm³) para el material de relleno, mientras que para el suelo arenoso es de 1.7 (gr/cm³).
 5. Con las condiciones geométricas antes mencionadas, se obtuvo un rango probable de cohesión, entre $C=0.0$ (kgf/cm²) y $C=0.10$ (kgf/cm²), para efectos del diseño se determina el promedio de la cohesión, por lo tanto $C=0.05$ (kgf/cm²), mientras que el ángulo de fricción interna varía entre 32° a 33°, para la modelación del talud, se adopta un de fricción interna de 32°.

III.1.4 Criterios de diseño para reforzamientos

Para cumplir con los factores de seguridad admisibles, se ha analizado una solución en base a muros estabilizado mecánicamente, además de la implementación de un sistema de suelo claveteado (Soil Nailing).

Los criterios de aceptabilidad adoptados y recomendados según la literatura técnica son los siguientes:

- Condición Estática: $FSE \geq 1,5$ (Braja M. Das [5]).
- Condición Sísmica: $FSS \geq 1,1$ ($0.7 * FSE$ Manual de Carreteras Vol. 3 [6]).

Las características mínimas de los pernos a utilizar, helicoidales o autoperforantes, son las siguientes:

- Capacidad : 25 Tonf.
- Largo : Largos variables, según plano de falla.
- Distribución : Malla al tresbolillo de 2.0 m x 2.0 m

Estos pernos son considerados en la condición activa, de manera que compriman y restrinjan la deformación que sufre el suelo.

III.2 Metodología Aplicada

III.2.1 Soil Nailing para estabilidad de taludes

El primer paso es encontrar en el gráfico de pre-diseño, los valores de la tensión máxima (t_{max-s}) y la relación entre el largo del refuerzo y la altura de falla (L/H).

Para ello, se considera el criterio de tomar una altura de falla de talud $H= 10$ m con $\Phi = 32^\circ$ para el suelo existente y diámetro de perforación de 0.12 m.

Se utilizará el Gráfico III-1, para obtener c^* y μ .

Donde:

μ : Fuerza de adherencia en la perforación.

c^* : Corrección por cohesión.

$$c^* = \frac{c}{\gamma H} = \frac{5 \left(\frac{KN}{m^2}\right)}{17 \left(\frac{KN}{m^3}\right) 10 (m)} = 0.029 \quad (3.1)$$

$$\mu = \frac{q_a D_{dh}}{\gamma S_H S_V} = \frac{100 (KPa) 0.12(m)}{17 \left(\frac{KN}{m^3}\right) 2.0 (m) 2.0 (m)} = 0.17 \quad (3.2)$$

Donde:

c : Cohesión del suelo.

γ : Peso específico del suelo.

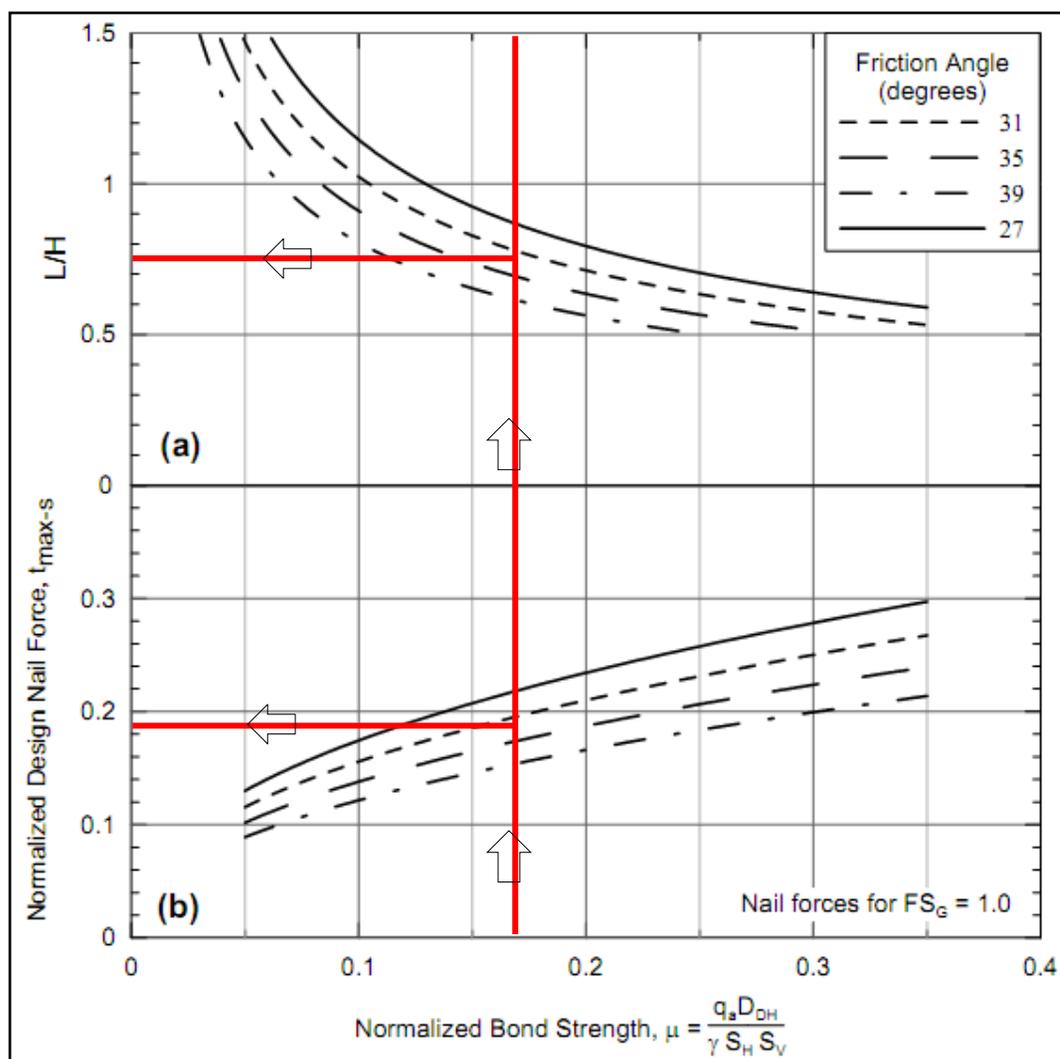
q_a : Adherencia entre el grout y el suelo.

S_H : Separación clavos, en sentido horizontal.

S_V : Separación clavos, en sentido vertical.

D_{dh} : Diámetro de la perforación.

Gráfico III-1: Pre-diseño. Soil Nailing



Del gráfico de pre-diseño se obtiene:

$$t_{\max-s} \approx 0.182 \quad L/H \approx 0.75$$

Cálculo del largo del clavo:

El largo del clavo se debe corregir por 3 factores

$$\frac{L}{H_{\text{(Corregido)}}} = C_{1L} C_{2L} C_{3L} \frac{L}{H} \quad (3.3)$$

Donde:

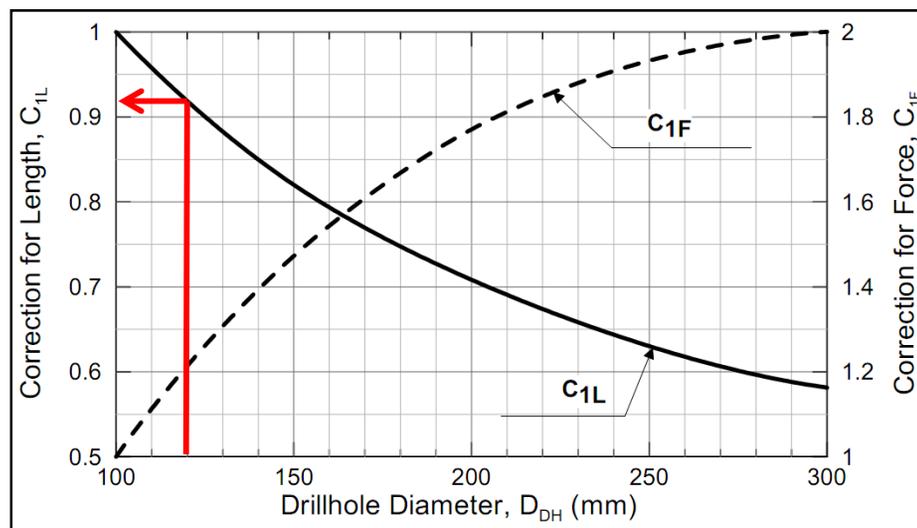
C_{1L} = Corrección por diámetro de perforación (Gráfico III-2)

C_{2L} = Corrección por cohesión

C_{3L} = Corrección por F.S. Global

Corrección por diámetro de perforación:

Gráfico III- 2: Corrección por diámetro de perforación C_{1L}



Se ingresa al Gráfico III-2, a través del diámetro de perforación de 120 mm, intersectando la curva C_{1L} para obtener el valor de corrección al lado izquierdo del gráfico, se obtiene un valor de:

$$C_{1L} \approx 0.92$$

Para H = 10 m; corrección por cohesión ($c^* = c/\gamma H$)

$$C_{2L} = -4.0c^* + 1.09 \geq 0.85 \quad (3.4)$$

$$C_{2L} = -4.0 * (0.029) + 1.09 = 0.97 \geq 0.85 \text{ O.K.}$$

Corrección por F.S. Global

$$C_{3L} = 0.52 \text{ F.S.} + 0.30 \geq 1.0 \quad (3.5)$$

$$C_{3L} = 0.52 * (1.5) + 0.30 = 1.08 \geq 1.0 \text{ O.K.}$$

Aplicación de los factores de corrección

Para H = 10 m

$$\frac{L}{\bar{H}_{(\text{Corregido})}} = C_{1L}C_{2L}C_{3L}\frac{L}{H} = (0.92)(0.97)(1.08)(0.75) = 0.72$$

Longitud del clavo:

Para H = 10 m

$$L = 0.72 H = 0.72 (10) = 7.2 \text{ m}$$

Cálculo de la tensión máxima y factor de seguridad

La tensión máxima se debe corregir por 2 factores

$$t_{\text{max-s}(\text{Corregido})} = C_{1F}C_{2F}t_{\text{max-s}} \quad (3.6)$$

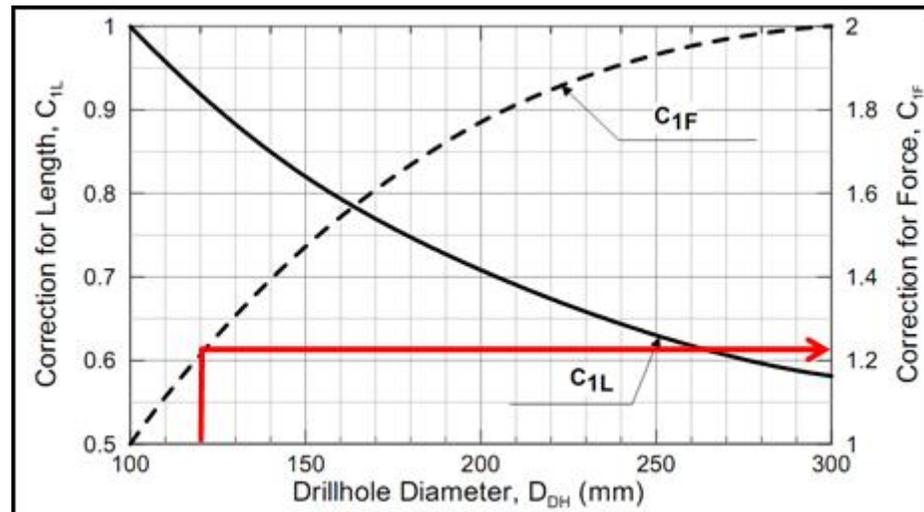
Donde:

$$C_{1F} = \text{Corrección por diámetro de perforación} \quad (\text{Gráfico III-2})$$

$$C_{2F} = \text{Corrección por cohesión}$$

Corrección por diámetro de perforación:

Gráfico III- 2: Corrección por diámetro de perforación C_{1F}



Se ingresa al Gráfico III-2 a través del diámetro de perforación de 120 mm y se interseca curva C_{1F} para obtener el valor de corrección al lado derecho del gráfico, el valor obtenido es:

$$C_{1F} \approx 1.22$$

Corrección por cohesión ($c^* = c/\gamma H$)

Para $H = 10$ m; corrección por cohesión ($c^* = c/\gamma H$)

$$C_{2F} = -4.0c^* + 1.09 \geq 0.85 \quad (3.7)$$

$$C_{2F} = C_{2L} = 0.97 \geq 0.85 \text{ O.K}$$

Luego:

Para $H = 10$ m

$$t_{\max-s(\text{Corregido})} = C_{1F}C_{2F}t_{\max-s} = (1.22)(0.97)(0.182) = 0.215$$

Tensión máxima

$$T_{\max} = \gamma H S_H S_V t_{\max-s(\text{Corregido})} \quad (3.8)$$

Para $H = 10 \text{ m}$

$$T_{\max} = (17\text{KN/m}^3)(10\text{m})(2.0\text{m})(2.0\text{m})(0.215) = 146.2 \text{ KN}$$

Tensión de fluencia

Se considera un diámetro de barra $\emptyset = 25 \text{ mm}$

$$T_{\text{fluencia}} = f_y \left[\frac{\pi}{4} D_r^2 \right] = 420000 \left[\frac{\pi}{4} 0.025^2 \right] = 206.2 \text{ KN} \quad (3.9)$$

Factor de Seguridad (F.S)

Para $H = 10 \text{ m}$

$$F. S. = \frac{T_{\text{fluencia}}}{T_{\max}} = \frac{206.2}{146.2} = 1.41 \text{ O. K.} \quad (3.10)$$

III.2.2 Muros mecánicamente estabilizados

Para esta solución, se considera la condición de borde de diseño, en relación al tipo de suelo existente en el lugar del área de estudio. Producto de la presencia de sales solubles, cloruros y sulfatos, se ha determinado en una solución tipo geomalla uniaxial, descartando un tipo de solución con tirantes de acero, dado que ésta solución se materializó en los perímetros del tramo de estudio, resultando con roturas producto de la corrosión para el sismo de abril de 2014.

Las geomallas uniaxiales o mono-orientadas, poseen alta resistencia a la tensión, son fabricadas en polietileno de alta densidad **HDPE**, inertes a las condiciones químicas y biológicas del suelo.

Para el desarrollo del diseño estructural de los muros mecánicamente estabilizados se basa en la metodología establecida en el Manual de “Administración Federal de Carreteras” [7], (FHWA, Federal Highway Administration). A modo de ejemplo para el desarrollo de la presente memoria de título, se ha seleccionado dentro del mercado nacional las geomallas uniaxiales de Tensar Earth Technologies, el cual la empresa EMIN es la entidad distribuidora en Chile. Se adjunta en **ANEXO D**: “Ficha Técnica de Geomallas Uniaxiales”.

Diseño de muros mecánicamente estabilizados

Para el diseño del muro, se considera una altura máxima de 9 metros y un ancho máximo de 7 metros (condición más desfavorable). La metodología empleado en términos generales, para el diseño de muros mecánicamente estabilizados, sometida a cargas estáticas y sísmicas es la siguiente:

A modo de mostrar la metodología, se presenta a continuación condiciones de diseño y la selección de dos refuerzo para su aplicación, ver de forma detallada en **ANEXO E**: “Diseño Estructural de Detalle, para Muros Mecánicamente Estabilizado”.

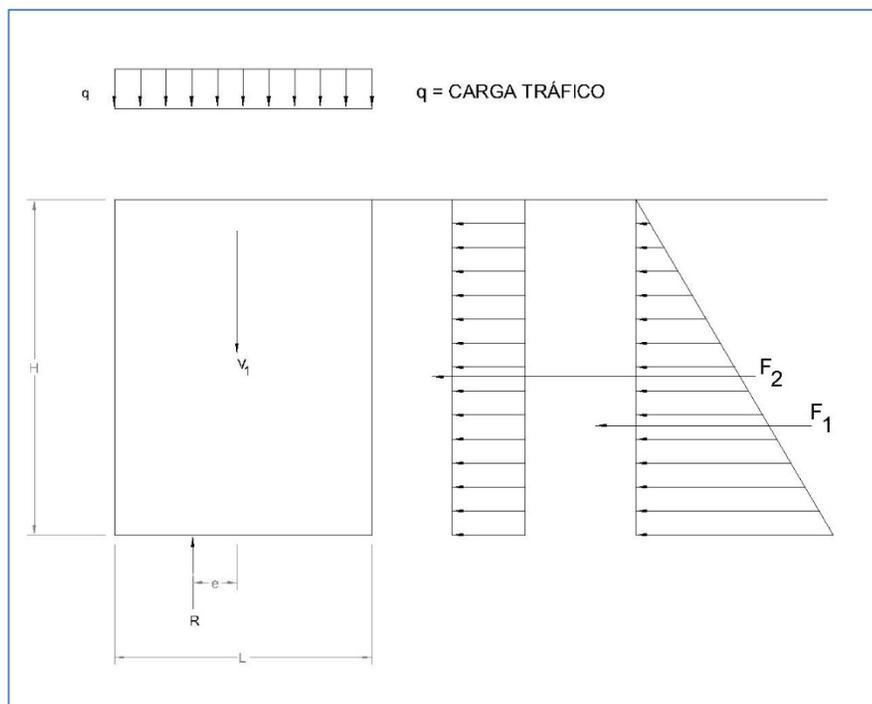


Figura 3-2: Diagrama de fuerzas estáticas.

Geometría del Muro:

$H = 9 \text{ m}$ Altura máxima del muro mecánicamente estabilizado.

$L = 7 \text{ m}$ Ancho máximo del muro mecánicamente estabilizado.

Fuerzas:

$V_1 = \gamma \cdot H \cdot L$ Peso muro mecánicamente estabilizado (3.11)

$F_1 = \frac{1}{2} \gamma \cdot H^2 \cdot K_a$ Fuerza 1 de empuje. (3.12)

$F_2 = q \cdot H \cdot K_a$ Fuerza 2 de empuje. (3.13)

Donde:

e = Excentricidad

q = Carga de tráfico

R = Resultante de fuerzas verticales ($V_1 + q$)

K_a = Coeficiente de la presión activa de Rankine.

Propiedades del suelo

$\gamma = 18 \text{ KN/m}^3$ Peso Suelo Muro

$\gamma_f = 17 \text{ KN/m}^3$ Peso Suelo Fundación

$\phi = 32^\circ$ Ángulo de fricción interna

$c = 5 \text{ KN/m}^2$ Cohesión

Cálculo del Coeficiente de la presión activa de Rankine (K_a):

$$K_a = \tan^2(45 - \phi/2) = \tan^2(45 - 32/2) = 0.307 \quad (3.14)$$

Cálculo de Carga de tráfico (q):

$$q = (\gamma + \text{peso asfalto}) * 0.610 \text{ m} = (18 \text{ KN/m}^3 + 1.6 \text{ KN/m}^3) * 0.610 = 11.96 \text{ KPa} \quad (3.15)$$

Análisis Estático

Cálculo Estabilidad Global

Cálculo de cargas:

$$V_1 = \gamma * H * L = 1.134 * 10^3 \text{ KN/m}$$

$$V_2 = q * L = 83.692 \text{ KN/m}$$

$$R = V_1 + V_2 = 1.218 * 10^3 \text{ KN/m}$$

$$F_1 = \frac{1}{2} \gamma * H^2 * K_a = 223.991 \text{ KN/m}$$

$$F_2 = q * H * K_a = 33.062 \text{ KN/m}$$

Cálculo de momentos

Momento volcante:

$$M = F_1 * (H/3) + F_2 * (H/2) = 820.755 \text{ KN m/m} \quad (3.16)$$

Momento Resistente:

$$M = V_1 * (L/2) = 3.969 * 10^3 \text{ KN m/m} \quad (3.17)$$

Momento Resistente por presión:

$$M = V_1 \cdot (L/2) + V_2 \cdot (L/2) = 820.755 \text{ KN m/m} \quad (3.18)$$

Cálculo excentricidad:

$$e = L/2 - ((\text{Momento resistente por presión} - \text{Momento volcante}) / (V_1 + V_2)) = 0.674 \text{ m} \quad (3.19)$$

Cálculo Esfuerzo máximo:

$$\sigma = (V_1 + q \cdot L) / (L \cdot 2 \cdot e) = 215.446 \text{ KPa} \quad (3.20)$$

Cálculo carga última (Factores de capacidad de carga):

$$q_{\text{ultima}} = c \cdot N_c + 0.5 \cdot (L \cdot 2 \cdot e) \cdot \gamma_f \cdot N_\gamma = 1.629 \cdot 10^3 \text{ KN/m}^2 \quad (3.21)$$

$$N_q = 23.177$$

$$N_c = 35.49$$

$$N_\gamma = 30.215$$

Donde:

N_c ; N_γ ; N_q = Factores de capacidad de carga adimensionales en función del ángulo de fricción

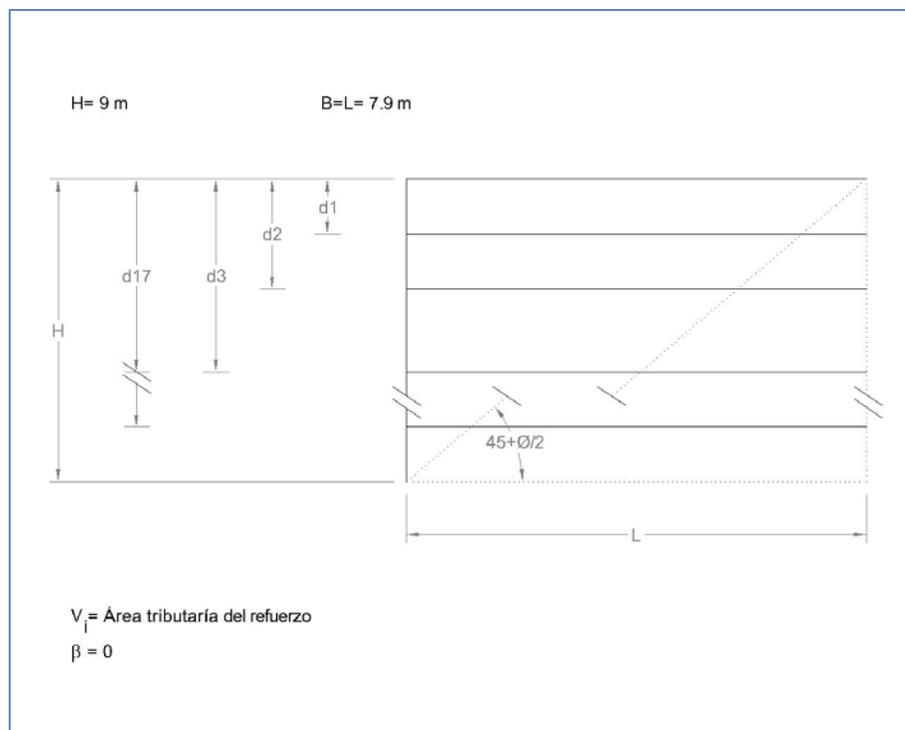
Cálculo Estabilidad Interna

Figura 3-3: Distancia entre refuerzos.

Cálculo de separación entre refuerzos:

A continuación se determinará los dos refuerzos iniciales desde la fundación hacia el coronamiento del muro con intervalo de separación de 40 cm aproximadamente.

$$H = 9 \text{ m}$$

$$D17 = H - 0.20 \text{ m} = 8.8 \text{ m} \text{ (primer refuerzo posterior a 20 cm del suelo existente)}$$

$$D16 = H - 0.60 \text{ m} = 8.4 \text{ m} \text{ (segunda refuerzo a 40 cm con respecto al primer refuerzo).}$$

Cálculo de área tributaria por refuerzo:

$$V17 = 0.5*(d17-d16) + (H-d17) = 0.4 \text{ m}$$

$$V16 = 0.5*(d16-d15) + 0.5*(d17-d16) = 0.4 \text{ m}$$

Cálculo de Tensión para cada refuerzo:

$$T_{\max} = K_a * (\gamma * d_i + q) * V_i \quad (3.22)$$

Donde:

K_a = Coeficiente de la presión activa de Rankine

γ = Peso Suelo Muro

V_i = área tributaria del refuerzo.

d_i = Separación entre refuerzos

q = Carga tráfico.

$$T_{\max 17} = 0.307*(18 \text{ KN/m}^3 * 8.8 \text{ m} + 11.96 \text{ KPa}) * 0.4 \text{ m} = 21 \text{ kN/m}$$

$$T_{\max 16} = 0.307*(18 \text{ KN/m}^3 * 8.4 \text{ m} + 11.96 \text{ KPa}) * 0.4 \text{ m} = 20 \text{ kN/m}$$

Verificación de refuerzo con refuerzo geosintético

$$\text{Tensión admisible} = \frac{\text{Tensión última} * R_c}{F_{\text{Sin}} * F_{\text{SID}} * F_{\text{SD}} * \text{Creep R}} \quad (3.23)$$

Donde:

R_c : Porcentaje de cobertura del refuerzo de 100% a 56%.

F_{Sin} : Factor de seguridad por incertidumbre. Valor = 1.5

F_{SID} : Factor de seguridad por daño de instalación. Valor = 1.1 a 1.2

F_{SD} : Factor de seguridad por daño de durabilidad. Valor = 1.1

Creep R : Factor de seguridad por daño de deformaciones. Valor = 3.1

$$\text{Tensión admisible 17 (UX1500MSE17)} = \frac{144 * 1}{1.5 * 1.1 * 1.0 * 3.1} = 28 \text{ KN/m}$$

$$\text{Tensión admisible 16 (UX1500MSE16)} = \frac{144 * 1}{1.5 * 1.1 * 1.0 * 3.1} = 28 \text{ KN/m}$$

Nota: Los largos de cada refuerzo se estable que el mínimo es de 7.9 metros por control de estabilidad global sísmico. Para el cálculo de la presente memoria de título, todos los refuerzos poseen un largo de 7.9 metros.

Análisis Pseudo - Estático

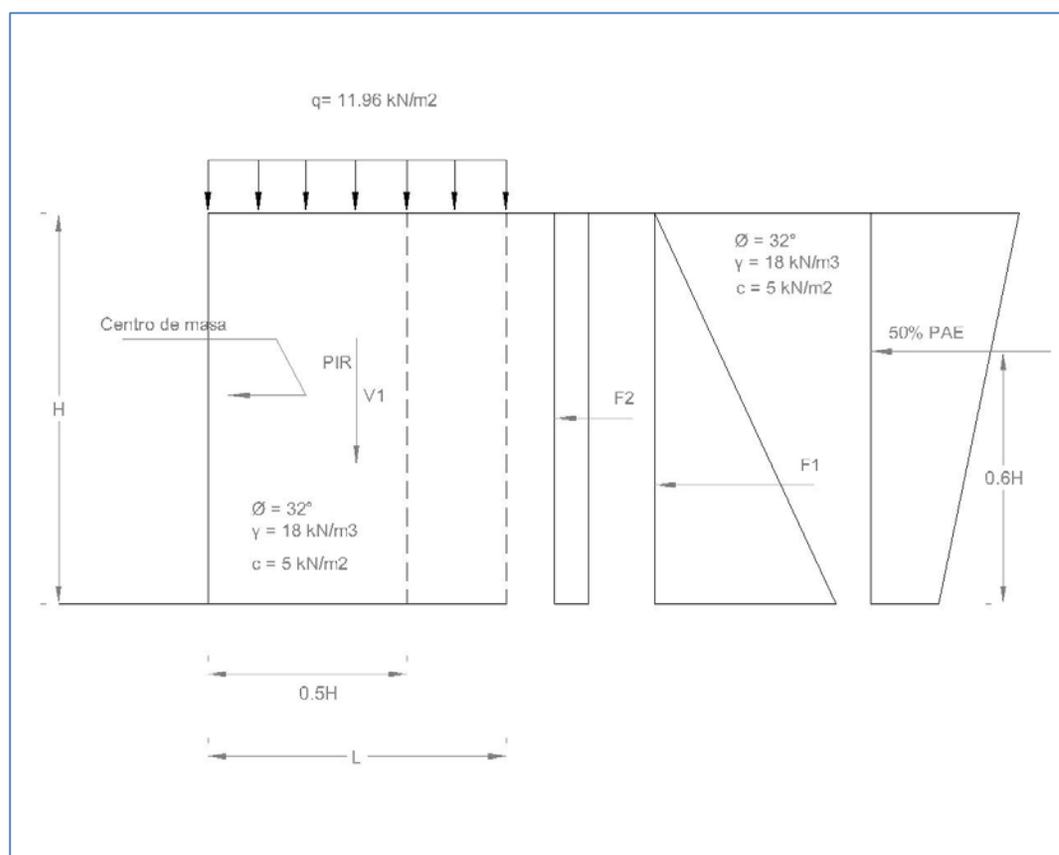


Figura 3-4: Diagrama de fuerzas, análisis pseudo - estático.

Cálculo Estabilidad Global

Cálculo de la aceleración mayorada (P_{AE}):

$A_m = 0.32$ Aceleración máxima horizontal.

$H = 9$ m Altura muro

$$P_{AE} = 0.375 * A_m * \gamma * H^2 = 174.96 \text{ KN/m}$$

50% $P_{AE} = 87.48$ KN/m (probabilidad de ocurrencia)

Cálculo de la aceleración inercial muro (P_{IR}):

$$P_{IR} = 0.5 * A_m * \gamma * H^2 = 233.28 \text{ KN/m} \quad (3.24)$$

Cálculo de estabilidad por desplazamiento (FS_{rd}):

$$FS_{rd} = V_1 \tan \phi / (F_1 + F_2 + P_{IR} + 50\%P_{AE}) = 1.226 \quad (3.25)$$

Cálculo de estabilidad por volcamiento (FS_{ot}):

$$FS_{ot} = V_1 * (L/2) / (F_1 (H/3) + F_2 (H/2) + P_{IR} (H/2) + 50\%P_{AE} (0.6*H)) = 1.694 \quad (3.26)$$

Cálculo excentricidad (e):

$$e = (F_1 (H/3) + F_2 (H/2) + P_{IR} (H/2) + 50\%P_{AE} (0.6*H)) / (V_1 + V_2) = 1.924 \text{ m} \quad (3.27)$$

Cálculo esfuerzo vertical (σ_{vs}):

$$\sigma_{vs} = (V_1 + V_2) / (L - 2*e) = 300.524 \text{ KN/m}^2 \quad (3.28)$$

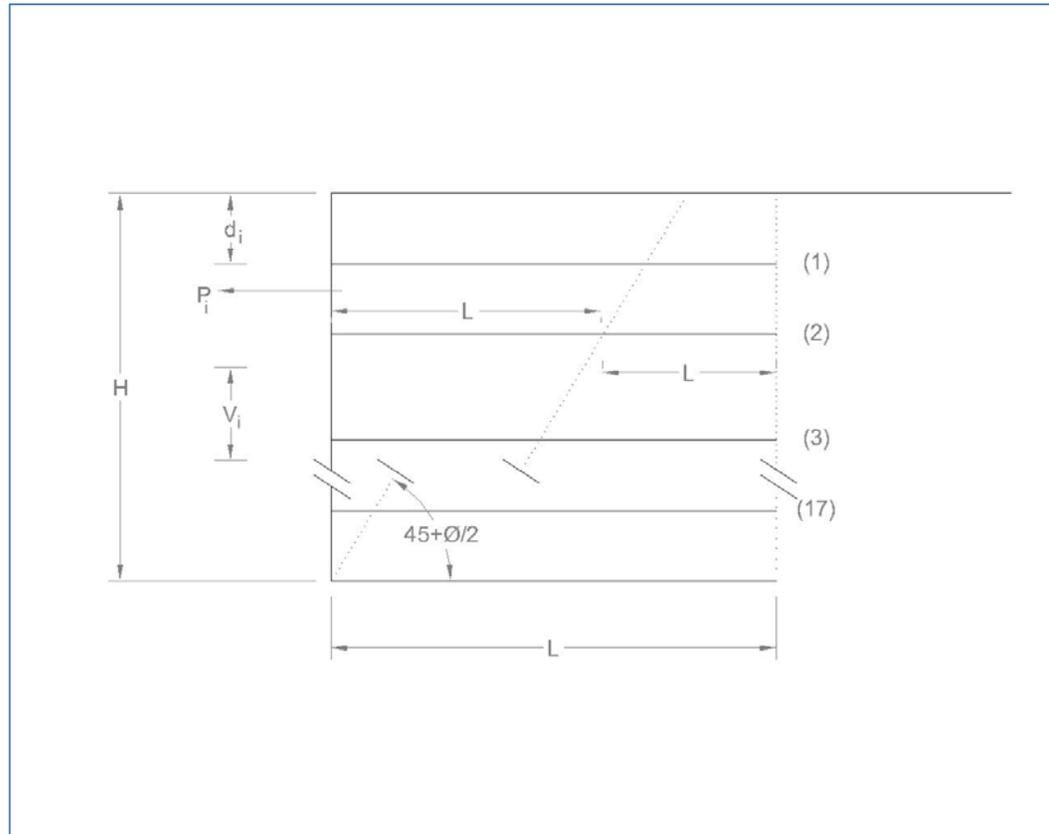


Figura 3-5: Fuerza por carga sísmica (P_i).

Cálculo de P_i (fuerza producida por carga sísmica):

$$P_i = A_m * W_A \quad (3.29)$$

$$W_A = (\tan(45 - \phi/2) * H) * H * 1/2 * \gamma = 404.091 \text{ KN/m}$$

$$P_i = 129.309 \text{ KN/m}$$

Cálculo de Tensiones por carga sísmica (T_{md}):

$$T_{md} = (P_i \cdot L_{ei}) / \Sigma L_{ei} \quad (\text{Tensión por carga sísmica en el refuerzo}) \quad (3.30)$$

Le = Largo efectivo del refuerzo

$$L_{ei} = L - (H - d_i) \cdot (\tan 45^\circ - \phi/2) \quad (3.31)$$

$$L = 7.9 \text{ m}$$

$$L_{e17} = L - (H - d_{17}) \cdot (\tan 45^\circ - \phi/2) = 7.79 \text{ m}$$

$$L_{e16} = L - (H - d_{16}) \cdot (\tan 45^\circ - \phi/2) = 7.56 \text{ m}$$

$$\Sigma L_{ei} = 96.66 \text{ m}$$

$$T_{md17} = (P_i \cdot L_{e17}) / \Sigma L_{ei} = 10.42 \text{ KN/m}$$

$$T_{md16} = (P_i \cdot L_{e16}) / \Sigma L_{ei} = 10.11 \text{ KN/m}$$

Verificación de Tensiones según Geomallas de refuerzo, para el desarrollo de éste diseño se seleccionaron los siguientes geosintéticos de Tensar:

Tensiones últimas de refuerzos

$$T_{ux1400} := 70 \frac{\text{kN}}{\text{m}} \quad \text{UX1400 MSE}$$

$$T_{ux1500} := 114 \frac{\text{kN}}{\text{m}} \quad \text{UX1500 MSE}$$

$$T_{ux1600} := 144 \frac{\text{kN}}{\text{m}} \quad \text{UX1600 MSE}$$

$$T_{\text{última}} = S_{rs} + S_{rt} \quad \text{Tensión última ec. 5.8.9.2-5 AASHTO 1998}$$

$$T_{\text{max}} < (S_{rs} \cdot R_c) / (FS \cdot RF) \quad \text{Tensión máxima componente estático ec. 5.8.9.2-5 AASHTO 1998}$$

$$T_{\text{md}} < (S_{rt} \cdot R_c) / (FS \cdot FS_{ID} \cdot FS_D) \quad \text{Tensión máxima componente Dinámico ec. 5.8.9.2-5 AASHTO 1998}$$

$$R_c := 100\% = 1 \quad \text{Considera el 100\% de utilidad del refuerzo}$$

$$FSe := 1.5 \quad \text{Factor de Seguridad modo estático}$$

$$FSd := 1.13 \quad \text{Factor de Seguridad modo dinámico}$$

$$FSID := 1.12 \quad \text{Factor de seguridad por tipo de suelo}$$

$$FSD := 1.1 \quad \text{Factor de seguridad por implementación}$$

$$RF := 3.1 \cdot 1.1 \cdot 1.12 = 3.81 \quad \text{Factor de Seguridad por Reducción}$$

Refuerzo N°16

$$Srs16 := T_{max16} \cdot \frac{(FSe \cdot RF)}{Rc} = 117.618 \cdot \frac{kN}{m}$$

$$Srt16 := T_{md16} \cdot \frac{(FSd \cdot FSID \cdot FSD)}{Rc} = 14.083 \cdot \frac{kN}{m}$$

$$T_{ux1600} = 144 \cdot \frac{kN}{m} \quad UX1600 \text{ MSE}$$

$$T_{ult16} := Srs16 + Srt16 = 131.701 \cdot \frac{kN}{m} \quad T_{ult16} \leq UX1600MSE \quad \text{Cumple}$$

Refuerzo N°17

$$Srs17 := T_{max17} \cdot \frac{(FSe \cdot RF)}{Rc} = 121.445 \cdot \frac{kN}{m}$$

$$Srt17 := T_{md17} \cdot \frac{(FSd \cdot FSID \cdot FSD)}{Rc} = 14.506 \cdot \frac{kN}{m}$$

$$T_{ux1600} = 144 \cdot \frac{kN}{m} \quad UX1500 \text{ MSE}$$

$$T_{ult17} := Srs17 + Srt17 = 135.951 \cdot \frac{kN}{m} \quad T_{ult17} \leq UX1600MSE \quad \text{Cumple}$$

Verificación del Pullout de cada capa reforzada

$$T_{maxs} < T_{po} = (C * (0.8) * F^* * \gamma * d * Le * Rc * \alpha) / (0.75 * 1.5)$$

C = 2 Por refuerzo

F* = tanφ * Ci Siendo Ci = 0.8 Coeficiente de fricción entre el refuerzo y suelo.

$$\gamma_r = 18 \cdot \frac{kN}{m^3} \quad \text{Suelo reforzado}$$

d_i = Profundidad del refuerzo.

Rc = Porcentaje de cobertura, 100% = 1

Le = Largo del refuerzo

α = Factor corrección efectiva = 1.0 (Tensor).

α := 1.0

T_{maxs} = Tensión sísmica

Refuerzo N°16

$$T_{po16} := \frac{(2 \cdot 0.8 \cdot 0.8 \cdot \tan(\phi_r) \cdot \gamma_r \cdot d_{16} \cdot L_{e16} \cdot R_c \cdot \alpha)}{(0.75 \cdot 1.5)} = 811.915 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$T_{max16s} := T_{max16} + T_{md16} = 30.647 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$T_{max16s} < T_{po16} \quad \text{Cumple}$$

Refuerzo N°17

$$T_{po17} := \frac{(2 \cdot 0.8 \cdot 0.8 \cdot \tan(\phi_r) \cdot \gamma_r \cdot d_{17} \cdot L_{e17} \cdot R_c \cdot \alpha)}{(0.75 \cdot 1.5)} = 877.185 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$T_{max17s} := T_{max17} + T_{md17} = 31.619 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$T_{max17s} < T_{po17} \quad \text{Cumple}$$

A continuación, se presenta los resultados en la Tabla III-2 obtenidos según: número de refuerzos, Profundidad del refuerzo, tipo de refuerzo, tensiones máximas para cargas estáticas y dinámicas.

Tabla III-2: Resultados de refuerzos para muro mecánicamente estabilizado

Resultados de refuerzos muros mecánicamente estabilizados					
N° de capa reforzada	Profundidad (m)	Tipo de refuerzo	Tensión últ. del refuerzo (KN/m)	Tensión máx. carga estática (KN/m)	Tensión máx. carga dinámica (KN/m)
1	0,47	UX 1400MSE	70	4,83	9,073
2	1,07	UX 1400MSE	70	5,803	10,491
3	1,68	UX 1400MSE	70	7,909	13,049
4	2,29	UX 1400MSE	70	9,967	15,559
5	2,9	UX 1500MSE	114	12,025	18,069
6	3,51	UX 1500MSE	114	14,083	20,58
7	4,12	UX 1500MSE	114	16,141	23,09
8	4,73	UX 1600MSE	144	18,198	25,6
9	5,34	UX 1600MSE	144	20,256	28,111
10	5,95	UX 1600MSE	144	18,656	26,963
11	6,36	UX 1600MSE	144	15,734	24,344
12	6,76	UX 1600MSE	144	16,63	25,537
13	7,17	UX 1600MSE	144	17,765	26,976
14	7,58	UX 1600MSE	144	18,466	27,982
15	7,98	UX 1600MSE	144	19,362	29,174
16	8,39	UX 1600MSE	144	20,531	30,647
17	8,8	UX 1600MSE	144	21,199	31,619

En el **ANEXO F** y **ANEXO G**, se muestra la situación con y sin proyecto de los taludes en relación a los tramos que conforma el área de estudio. En la situación con proyecto, se modela los muros mecánicamente estabilizados, incorporando los refuerzos geosintéticos, como también, se modela un sistema claveteado (Soil Nailing) para la estabilidad de taludes, todo lo anterior expuesto cumple el objetivo, de realizar un análisis de la situación sin proyecto (pos-sismo) y otro con la situación proyectada, para igualar o superar los factores de seguridad mínimos establecidos para un análisis estático y pseudo-estático.

IV. CONCLUSIONES

Se presentaran a continuación las conclusiones obtenidas para la situación sin proyecto (pos-sismo) y conclusiones para la situación proyectada con refuerzos para taludes y muros mecánicamente estabilizados.

IV.1 Conclusiones Situación sin Proyecto (pos-sismo)

En general se observa un deslizamiento horizontal (cizallamiento) entre el relleno estructural y el suelo natural, correspondiente a una falla local entre suelos con distintas rigideces, manifestándose esta anomalía con agrietamientos en el relleno estructural y la capa asfáltica al costado derecho de la calzada en dirección del tránsito.

Existen zonas con claras evidencias de fallas de talud, además de la falla mencionada en el párrafo 1 (cizallamiento), ésta en general se manifestó con desplazamientos horizontales y verticales más allá de una pista vehicular.

También se puede observar la erosionabilidad provocado por el viento en el talud, produciéndose socavación entre el suelo natural y el relleno estructural que debido a la composición de suelo llegaron a poseer distintas inclinaciones dando mayor facilidad a un deslizamiento horizontal entre ambos suelos.

El factor de seguridad sísmico obtenido (sin sistema de reforzamiento), no cumple con el mínimo admisible, traduciéndose en una alta probabilidad de inestabilidad y falla del suelo, lo anterior se materializa en el evento sismo producido con fecha marzo y abril de 2014. Por otro lado, el factor de seguridad estático, cumple con el mínimo exigido (sin sistema de reforzamiento), motivo por el cual antes del evento sísmico, no existen registros de daños a la estructura que conforma el área de estudio, tanto para la

superestructura como infraestructura vial de la ruta 16. Ver **ANEXO F**: “Situación sin proyecto. Talud Natural”.

IV.2 Conclusiones Situación con Proyecto

Para las soluciones desarrolladas en la presente memoria de título a nivel de infraestructura vial, los factores de seguridad tanto sísmico como estático, cumplen con el mínimo admisibles. El análisis de estabilidad global y local con el sistema reforzado permiten en conjunto estabilizar los planos de falla a nivel de sub-suelo, aumentado el coeficiente de seguridad por sobre lo exigido. Si dichos refuerzos sólo se materializa uno de ellos (Soil Nailing o Muros Mecánicamente Estabilizados) no cumplirá con el factor mínimo exigido para un análisis de estabilidad global de la infraestructura vial, sólo cumplirá con el mínimo admisible para el caso de un análisis de estabilidad local.

Los taludes de corte por estar conformados principalmente por un material granular (arenas) expuesto a la erosión producida por el viento (no existe vegetación en el talud), fallará de igual forma a largo plazo, si no existe una medida de protección contra el viento que conllevaría a daños tales como: desprendimientos, caída de material y finalmente, una posible falla en la estabilidad del talud. Por lo anterior expuesto, se recomiendan las siguientes medidas de protección:

Para cumplir con los factores de seguridad admisibles, se debe implementar una solución en base a muros estabilizado mecánicamente, además de la implementación de un sistema de suelo claveteado (Soil Nailing), en los tramos que constituyen el área de estudio. Ver **ANEXO G**: “Situación con proyecto. Modelaciones con Refuerzos para el Estudio de Análisis Estático y Pseudo-Estático”.

La fortificación mediante Soil Nailing en taludes, debe ser con pernos helicoidales de 25 toneladas de capacidad y con los largos establecidos según modelación, dispuestos al trespelillo en malla 2.0 m x 2.0 m, perpendicular a la cara del talud (ver detalle en **ANEXO G**). En el escenario posible, de no utilizar pernos helicoidales, se podrá reemplazar por pernos del tipo autoperforantes de iguales características.

La lechada de cemento que se inyecte a través de los pernos autoperforantes, deberá ser preparada con cemento hidráulico corriente o Portlan especial o uno similar que cumpla con los requerimientos de la NCh 148 y que además sea de tipo puzolánico. Además se recomienda agregar un aditivo expansor intraplast o similar. El agua a usar en la preparación de la lechada deberá cumplir con las indicaciones de la norma NCh 170.

Junto con lo anterior, se recomienda considerar la implementación de una malla de acero electrosoldada, de acero AT56-50H, de diámetro mínimo 9 mm y una abertura rectangular de 150x150 mm, tipo C-443. La malla deberá quedar sujeta al talud mediante placas de acero atornilladas a los pernos.

Junto con la instalación de la malla, se recomienda implementar una capa de shotcrete con 20 cm de espesor como mínimo y resistencia de 25 MPa o mayor (SH-25/30), aplicada en capas consecutivas de 5 cm de espesor como máximo.

Para proteger el hormigón proyectado se deberá considerar una membrana de curado antisol o similar de manera de asegurar un adecuado proceso de fraguado.

Para los muros mecánicamente estabilizados, utilizar geomallas uniaxiales mono-orientadas, fabricadas en polietileno de alta densidad **HDPE** con características iguales o superiores según ficha técnica detallada en **ANEXO D**.

Para la superestructura vial, se recomienda remplazar el pavimento existente por un pavimento flexible del tipo concreto asfáltico de espesor igual a 12 cm en total, compuesto por un concreto asfáltico de superficie de 5 cm de espesor y una capa asfáltica intermedia (binder) de 7 cm de espesor, más una base granular con un espesor mínimo de 15 cm y CBR igual o mayor a 80%.

BIBLIOGRAFIA

- [1] PASKOFF R., (1938) “Evolución Geomorfológica del Gran Acantilado costero del norte de Chile”, Departamento de Geografía, Universidad de Túnez, 94, abril 1938.

- [2] VELOZO, L y SANCHEZ M., (1991) “Características Geomorfológicas. Área litoral: Iquique – Caleta Molle”, Revista de geografía Norte Grande, 18: 3-8 1991.

- [3] Manual de Carreteras, Volumen N°2: “Procedimientos de Estudios Viales” y Volumen N°8: “Especificaciones y Métodos de Muestreo, Ensaye y Control” de la Dirección de Vialidad del Ministerio de Obras Públicas de Chile, septiembre 2012.

- [4] SERNAGEOMIN, (2014), “Información geológica de la comuna de Alto Hospicio”, Gobierno de Chile, agosto, 2014.

- [5] BRAJA M. (2001) “Principios de Ingeniería de Cimentaciones”, Cuarta edición.

- [6] Manual de Carreteras - Volumen N°3 - “Instrucciones y Criterios de Diseño”, Capítulo 3.602.3 “Estabilidad de Cortes” de la Dirección de Vialidad del Ministerio de Obras Públicas de Chile (MCV3), septiembre 2012.

- [7] Federal Highway Administration (FHWA), EE.UU, 1996.

ANEXOS

ANEXO A: REGISTRO DE EXPLORACIÓN RUTA 16 ALTO HOSPICIO

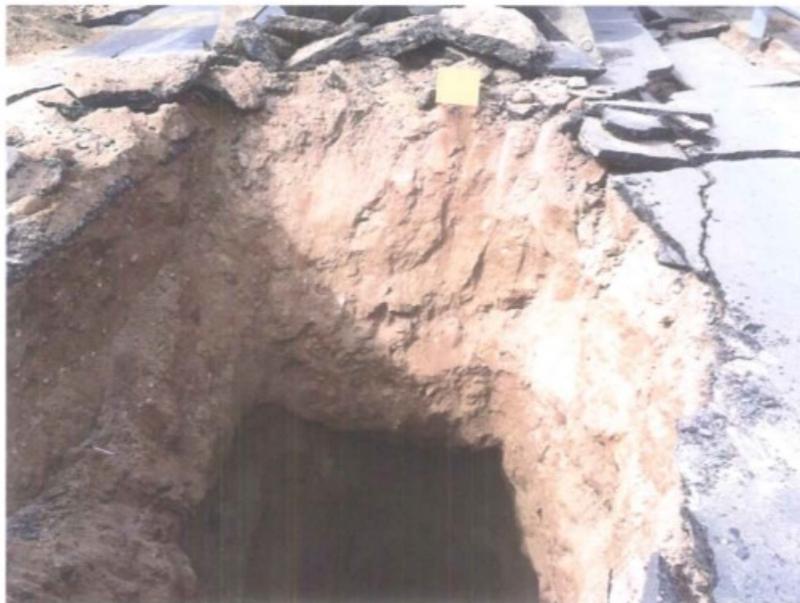
 UNIDAD DE CALIDAD	Obra	: Concesión Internacional Alternativas Accesos a Iquique
	Proyecto	: Alternativas Accesos a Iquique
	Concesionaria	: Soc. Concesionaria Rutas del desierto S.A.
	Constructora	: Sacyr Chile S.A.

Estratigrafía

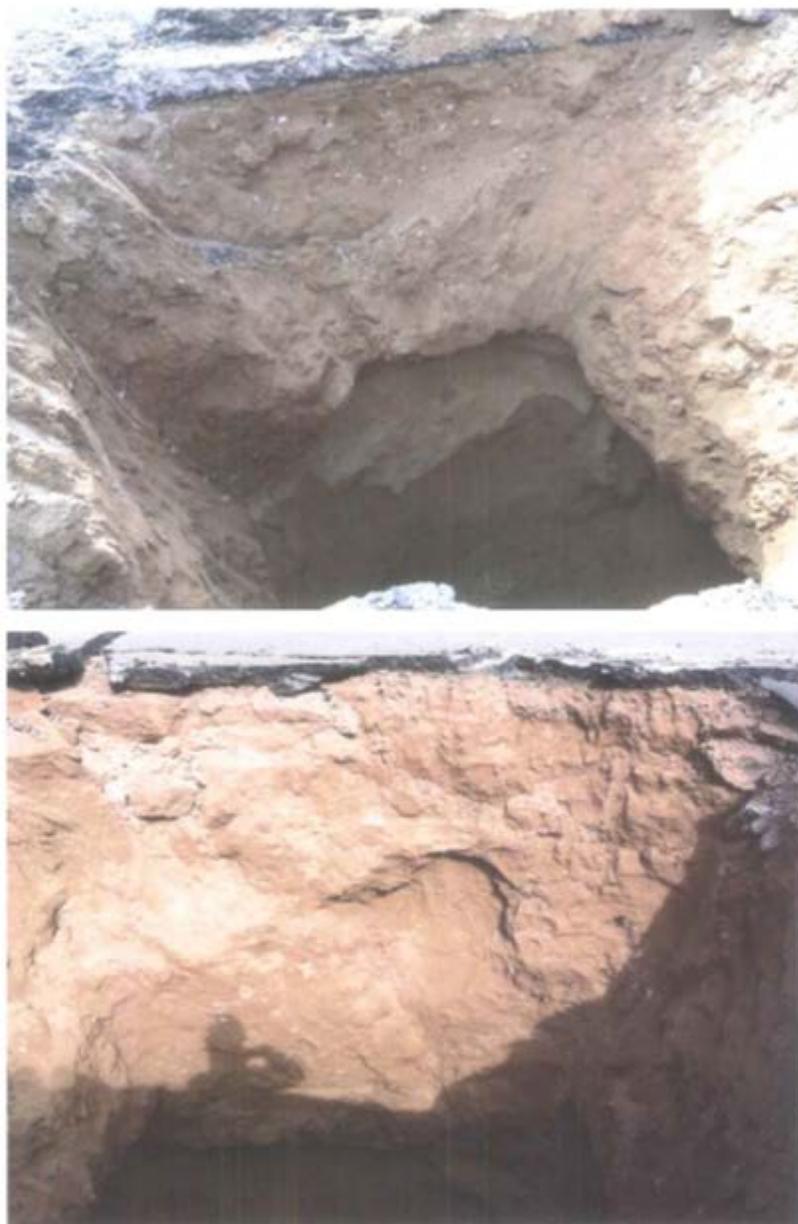
Identificación	: Calicata N°1		
Dm	: Pk 45.520		
Calzada	: Izquierda, Margen Izquierdo		
Ubicación	: Ruta A-16		
Fecha	: 15-04-2014		
H -1	0 - 0,15	Nombre del suelo	Capa Asfáltica
		Distribución de tamaños	
		Color	
		Olor	
		Graduación	
		Forma de Partículas	
		Plasticidad	
		Humedad	
		Compacidad / Consistencia	
		Estructura	
		Cementación	
		Origen	
		Símbolo de Grupo USCS	
H -2	0,15 - 0,20	Nombre del suelo	Base Granular Charcada
		Distribución de tamaños	Tam. Max. 1"1/2 ,Sobre 5 mm 50% ,Bajo 5mm 50%
		Color	Rojizo
		Olor	Ninguno
		Graduación	Bien Graduada
		Forma de Partículas	Angular ,Subangular
		Plasticidad	Ninguna
		Humedad	Humeda
		Compacidad / Consistencia	Media
		Estructura	Homogenea
		Cementación	Debil
		Origen	Relleno Artificial
		Símbolo de Grupo USCS	
H -3	0,20 - 1,90	Nombre del suelo	Arena Fina c/ Gravas Aisladas
		Distribución de tamaños	Tam. Max. 6" ,Sobre 3" 2% ,Sobre 5mm 3% ,Bajo 5mm 95%
		Color	Rojizo
		Olor	Ninguno
		Graduación	Pobremente Graduada
		Forma de Partículas	Angular ,Subangular
		Plasticidad	Ninguna
		Humedad	Humeda
		Compacidad / Consistencia	Media
		Estructura	Homogenea
		Cementación	Debil
		Origen	Transportado
		Símbolo de Grupo USCS	
H -4	1,90 - 4,30	Nombre del suelo	Arena Fina Limosa
		Distribución de tamaños	Bajo 5mm 100%
		Color	Café Claro
		Olor	Ninguno
		Graduación	Pobremente Graduada
		Forma de Partículas	-
		Plasticidad	Ninguna
		Humedad	Seca
		Compacidad / Consistencia	Suelta
		Estructura	Estratificado
		Cementación	Debil
		Origen	Residual
		Símbolo de Grupo USCS	

CALICATA N°1

PK 45.520 MARGEN IZQUIERDO ,CALZADA IZQUIERDA



CALICATA N°1





Obra : Concesión Internacional Alternativa Acceso a Iquique
 Proyecto : Alternativa Acceso a Iquique
 Concesionaria : Soc. Concesionaria Ruta del desierto S.A.
 Constructor : Sacyr Chile S.A.

Estratigrafía

Identificación	Calicata N°2		
Des	Pl 41.140		
Calzada	Iquique, Margen Izquierda		
Ubicación	Ruta A-16		
Fecha	15-04-2014		
H-1	0 - 0,12	Nombre del suelo	Capa Asfáltica
		Distribución de tamaños	
		Color	
		Olor	
		Gradación	
		Forma de Partículas	
		Plasticidad	
		Humedad	
		Compacidad / Consistencia	
		Estructura	
H-2	0,12 - 0,20	Nombre del suelo	Base Granular Chancada
		Distribución de tamaños	Tam. Max. 1" (25 mm) Sobre 3 mm 50% ,Bajo 3mm 50%
		Color	Ninguno
		Olor	Ninguno
		Gradación	Baja Gradación
		Forma de Partículas	Angular, Subangular
		Plasticidad	Ninguna
		Humedad	Humeda
		Compacidad / Consistencia	Medio
		Estructura	Homogénea
H-3	0,20 - 0,30	Nombre del suelo	Arena Fina c/ Grava Aislada
		Distribución de tamaños	Tam. Max. 2" Sobre 3mm 2% ,Bajo 3mm 98%
		Color	Ninguno
		Olor	Ninguno
		Gradación	Subseleccionada Graduada
		Forma de Partículas	Angular, Subangular
		Plasticidad	Ninguna
		Humedad	Humeda
		Compacidad / Consistencia	Medio
		Estructura	Homogénea
H-4	0,30 - 2,30	Nombre del suelo	Arena Fina c/ Grava
		Distribución de tamaños	Tam. Max. 6" Sobre 2" 5% ,Sobre 3mm 10% ,Bajo 3mm 90%
		Color	Café Claro
		Olor	Ninguno
		Gradación	Subseleccionada Graduada
		Forma de Partículas	Angular, Subangular
		Plasticidad	Ninguna
		Humedad	Humeda
		Compacidad / Consistencia	Medio
		Estructura	Homogénea
H-5	2,30 - 2,50	Nombre del suelo	Arena Fina c/ Grava
		Distribución de tamaños	Tam. Max. 3/4" Sobre 3mm 50% ,Bajo 3mm 50%
		Color	Ninguno
		Olor	Ninguno
		Gradación	Subseleccionada Graduada
		Forma de Partículas	Angular, Subangular
		Plasticidad	Ninguna
		Humedad	Humeda
		Compacidad / Consistencia	Medio
		Estructura	Homogénea
H-6	2,50 - 3,00	Nombre del suelo	Arena Fina Limosa
		Distribución de tamaños	Bajo 3mm 100%
		Color	Café Claro
		Olor	Ninguno
		Gradación	Subseleccionada Graduada
		Forma de Partículas	-
		Plasticidad	Ninguna
		Humedad	Baja
		Compacidad / Consistencia	Buena
		Estructura	Estratificada
Comentarios	Dubi		
Origen	Residual		
Símbolo de Grupo USCS			

CALICATA N°2

PK 45.140 MARGEN IZQUIERDO ,CALZADA IZQUIERDA



CALICATA N°2





Obra : Concesión Internacional Alternativas Accesos a Iquique
 Proyecto : Alternativas Accesos a Iquique
 Concesionaria : Soc. Concesionaria Rutas del desierto S.A.
 Constructora : Sacyr Chile S.A.

UNIDAD DE CALIDAD

Estratigrafía

Identificación	Calicata N°3	
Dm	: Pk 44 900	
Calzada	: Izquierda, Margen Izquierdo	
Ubicación	: Ruta A-16	
Fecha	: 15-04-2014	
H-1	0 - 0,11	Nombre del suelo : Capa Asfáltica Distribución de tamaños : Color : Olor : Graduación : Forma de Partículas : Plasticidad : Humedad : Compacidad / Consistencia : Estructura : Cementación : Origen : Símbolo de Grupo USCS :
H-2	0,11 - 0,27	Nombre del suelo : Base Granular Chancada Distribución de tamaños : Tam. Max. 1"1/2 ,Sobre 5 mm 50% ,Bajo 5mm 50% Color : Rojizo Olor : Ninguno Graduación : Bien Graduada Forma de Partículas : Angular ,Subangular Plasticidad : Ninguna Humedad : Humeda Compacidad / Consistencia : Media Estructura : Homogenea Cementación : Debil Origen : Relleno Artificial Símbolo de Grupo USCS :
H-3	0,27 - 1,10	Nombre del suelo : Arena Fina c/ Gravas Aisladas Distribución de tamaños : Tam. Max. 2" ,Sobre 5mm 5% ,Bajo 5mm 95% Color : Rojizo Olor : Ninguno Graduación : Pobrementemente Graduada Forma de Partículas : Angular ,Subangular Plasticidad : Ninguna Humedad : Humeda Compacidad / Consistencia : Media Estructura : Homogenea Cementación : Debil Origen : Transportado Símbolo de Grupo USCS :
H-4	1,10 - 4,50	Nombre del suelo : Arena Fina Limosa c/ Gravas Distribución de tamaños : Tam. Max. 5" ,Sobre 3" 5% ,Sobre 5mm 45% ,Bajo 5mm 50% Color : Café Claro Olor : Ninguno Graduación : Pobrementemente Graduada Forma de Partículas : Angular ,Subangular Plasticidad : Ninguna Humedad : Humeda Compacidad / Consistencia : Media Estructura : Homogenea Cementación : Debil Origen : Residual Símbolo de Grupo USCS :

CALICATA Nº3

PK 44.900 MARGEN IZQUIERDO ,CALZADA IQUIERDA





Obra : Concesión Internacional Alternativas Accesos a Iquique
 Proyecto : Alternativas Accesos a Iquique
 Concesionaria : Soc. Concesionaria Rutas del desierto S.A.
 Constructora : Sacyr Chile S.A.

UNIDAD DE CALIDAD

Estratigrafía

Identificación : Calicata N°4
 Dm : Pk 44.080
 Calzada : Izquierda, Margen Izquierdo
 Ubicación : Ruta A-16
 Fecha : 15-04-2014

H -1	0 - 0,11	Nombre del suelo	Capa Asfáltica
		Distribución de tamaños	
		Color	
		Olor	
		Graduación	
		Forma de Partículas	
		Plasticidad	
		Humedad	
		Compacidad / Consistencia	
		Estructura	
		Cementación	
Origen			
Símbolo de Grupo USCS			
H -2	0,11 - 0,40	Nombre del suelo	Base Granular Chancada
		Distribución de tamaños	Tam. Max. 1"1/2, Sobre 5 mm 50%, Bajo 5mm 50%
		Color	Rojizo
		Olor	Ninguno
		Graduación	Bien Graduada
		Forma de Partículas	Angular, Subangular
		Plasticidad	Ninguna
		Humedad	Humeda
		Compacidad / Consistencia	Media
		Estructura	Homogénea
		Cementación	Debil
Origen	Relleno Artificial		
Símbolo de Grupo USCS			
H -3	0,40 - 1,80	Nombre del suelo	Arena Fina Limosa c/ Gravas
		Distribución de tamaños	Tam. Max. 4", Sobre 3" 5%, Sobre 5mm 45%, Bajo 5mm 50%
		Color	Café Claro
		Olor	Ninguno
		Graduación	Pobremente Graduada
		Forma de Partículas	Angular, Subangular
		Plasticidad	Ninguna
		Humedad	Seca
		Compacidad / Consistencia	Suelta
		Estructura	Homogénea
		Cementación	Debil
Origen	Residual		
Símbolo de Grupo USCS			
H -4		Nombre del suelo	
		Distribución de tamaños	
		Color	
		Olor	
		Graduación	
		Forma de Partículas	
		Plasticidad	
		Humedad	
		Compacidad / Consistencia	
		Estructura	
		Cementación	
Origen			
Símbolo de Grupo USCS			

CALICATA N°4

PK 44.080 MARGEN IZQUIERDO ,CALZADA IZQUIERDA



SUELOS RUTA 16										Análisis granulométrico															
N° MUESTRA	FECHA	POSICIÓN	DESCRIPCIÓN	PROCEDENCIA	LOCALIZACIÓN				Proctor Modificado Según S.102.7 & S.102.8 (LNY 95.6.96)	Según S.102.1 (LNY)															
					CALZADA	PISTA	PP. PK.	CAPA		Tamado Métrico (Terraplenes +150mm)															
									Hom. OPT (%)	D.M.C.S.	150	100	60	43	50	40	25	20	10	5	2	1	0.75	0.425	
MS-585	15-04-2014	Terraplén	Arena gravosa con presencia de material sedimentado color café	Corte pk 44.900				Tomada en CI	8,7	2062						100	96	91	89						
MS-586	15-04-2014	Terraplén	Arena gravosa color café claro	Corte pk 44.080				Tomada en CI	6,8	1829						100	99	92	88	81	77				
MS-587	15-04-2014	Terraplén	Arena gravosa color café	Corte pk 45.520				Tomada en CI	6,9	1862						100	98	97	93	91					
MS-588	15-04-2014	Terraplén	Arena gravosa color café	Corte pk 45.520				Tomada en CI	4,3	1740						100	83	83	83	81					
MS-589	15-04-2014	Terraplén	Arena gravosa color café claro	Corte pk 45.140				Tomada en CI	6,3	1830						100	95	95	90	88	87	79	76		
MS-590	15-04-2014	Terraplén	Arena gravosa color café	Corte pk 45.140				Tomada en CI	6,8	1711											100	96	98		
MS-591	15-04-2014	Terraplén	Arena gravosa color café	Corte pk 44.900				Tomada en CI	11,0	1863						100	76	75	69	63	56	53			

s (%)	Límites de Atterberg (%)				C.B.R. (%)	Observaciones	Clasificación de suelos	
	Sapés K.102.3 y K.102.4 (9)		Sapés K.102.11 (L.N.V 89 y 99)				USCS	ASHTO
10	5	2	0,5	0,08	Sólo > 20 Terraples > 15 Subrotas > 55	A10,3**		
3,8**	Nº 4	Nº 10	Nº 40	Nº 100				
82	74	61	35	16	84		Calcula nº3 (Estado 0,27 - 1,1) Humedad Natural: 1,7%	SM A-4 (0)
70	65	62	58	3	44		Calcula nº4 (Estado 0,8 - 1,0) Humedad Natural: 1,6%	SP A1-b (0)
86	80	76	66	6	40		Calcula nº1 (Estado 0,2 - 1,9) Humedad Natural: 4,8%	SP-SM A1-b (0)
74	68	67	64	3	23		Calcula nº1 (Estado 1,9 - 4,3) Humedad Natural: 2,2%	SP A1-b (0)
69	65	61	55	4	41		Calcula nº2 (Estado 0,3 - 2,3) Humedad Natural: 2,9%	SP A1-b (0)
96	94	92	88	3	21		Calcula nº2 (Estado 2,5 - 5,0) Humedad Natural: 3,0%	SP A1-b (0)
48	44	41	38	4	50		Calcula nº3 (Estado 1,1 - 4,5) Humedad Natural: 3,7%	GP A1-a (0)

ANEXO B: INFORME DE ENSAYO DE LABORATORIO



INFORME ENSAYO N° 210

ENSAYO DE CORTE DIRECTO CONSOLIDADO NO DRENADO

ASTM D3080 - 03

PROYECTO: Ruta 16 Camino Alto Hospicio

CLIENTE: Sacyr Chile S.A.

DIRECCIÓN: Avda Vitacura N°2939 Of.1102, Las Condes

IDENTIFICACIÓN

FECHA: 24-04-14

Correlativo Lab. N°: S-7993

Densidad Humeda (Kg/dm³): 1,732

Sondaje/Calicata: C-1

Humedad (%): 1,9

Prof (m): 1,90-4,10

Densidad Seca (Kg/dm³): 1,700

Diám. Probeta(cm): 5,00

Densidad Relativa (%): -

Altura (cm): 2,54

Dens. Máxima Seca (kg/dm³) (1): -Dens. Mínima Seca (kg/dm³) (2): -

Estructura del Suelo: -

PROBETA NUMERO 1

PRESION NORMAL = 0,5 Kg / cm²

MEDICIONES EFECTUADAS

Deformación Longitudinal (mm)	Esfuerzo de Corte (Kg/cm ²)	Deformación Normal (mm)
0,00	0,00	0,00
0,53	0,35	0,00
0,99	0,49	-0,64
1,50	0,48	-2,03
1,98	0,38	-2,79
2,54	0,39	-3,63
3,07	0,39	-4,14
3,63	0,39	-4,34
4,06	0,39	-4,39
4,57	0,39	-4,52
5,11	0,39	-4,57
5,56	0,38	-4,57
6,07	0,37	-4,57
7,11	0,38	-4,57
8,15	0,37	-4,57
9,17	0,37	-4,57
10,13	0,37	-4,57
11,20	0,37	-4,57
12,19	0,37	-4,57
13,23	0,37	-4,60
14,25	0,37	-4,60
15,24	0,38	-4,60
16,26	0,38	-4,60

(1) ASTM D4253-00 (2) ASTM D.4254 - 00

ENSAYO DE CORTE DIRECTO CONSOLIDADO NO DRENADO

ASTM D3080 - 03

IDENTIFICACIÓN

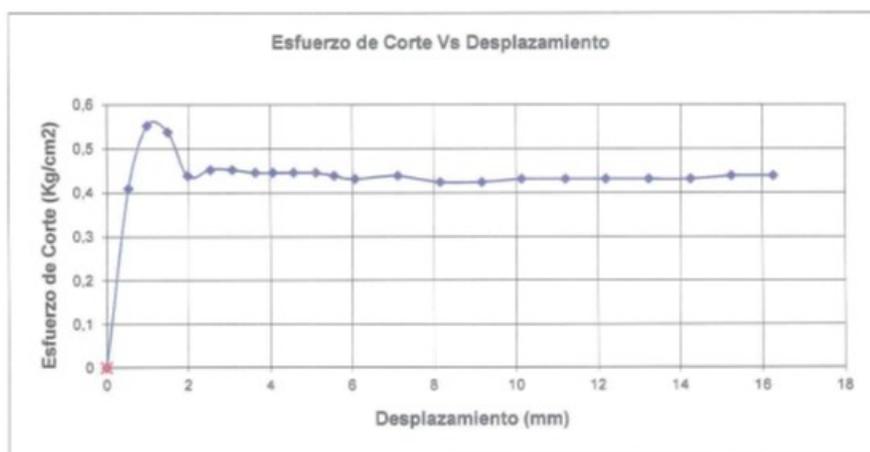
Correlativo Lab. N°: S-7993

FECHA: 24-04-14

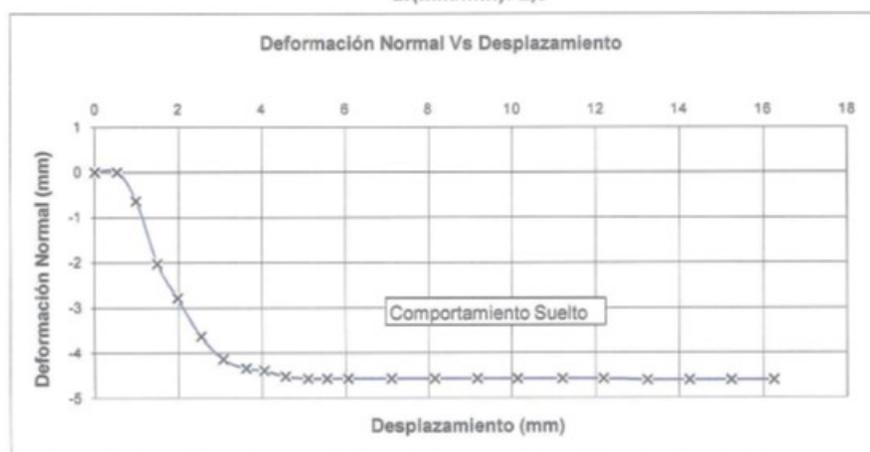
Prof (m): 1,90-4,10

PROBETA NUMERO 1

PRESION NORMAL = 0,5 Kg / cm²



τ (kg/cm²): 0,56
 τ res (kg/cm²): 0,42
 dr(mm/min): 2,0





INFORME ENSAYO N° 210

ENSAYO DE CORTE DIRECTO CONSOLIDADO NO DRENADO

ASTM D3080 - 03

PROYECTO: Ruta 16 Camino Alto Hospicio

CLIENTE: Sacyr Chile S.A.

DIRECCIÓN: Avda Vitacura N°2939 Of.1102, Las Condes

IDENTIFICACIÓN

FECHA: 24-04-14

Correlativo Lab. N°: S-7993
 Sondaje/Calicata: C-1
 Prof (m): 1,90-4,10
 Diám. Probeta(cm): 5,00
 Altura (cm): 2,54

Densidad Humeda (Kg/dm³): 1,732
 Humedad (%): 1,9
 Densidad Seca (Kg/dm³): 1,700
 Densidad Relativa (%): -
 Dens. Máxima Seca (kg/dm³) (1): -
 Dens. Mínima Seca (kg/dm³) (2): -
 Estructura del Suelo: -

PROBETA NUMERO 2

PRESION NORMAL = 1 Kg / cm 2

MEDICIONES EFECTUADAS

Deformación Longitudinal (mm)	Esfuerzo de Corte (Kg/cm ²)	Deformación Normal (mm)
0,00	0,00	0,00
0,56	0,81	-0,25
1,02	0,92	-1,14
1,50	0,92	-2,34
2,01	0,87	-3,56
2,57	0,79	-4,17
3,05	0,78	-4,52
3,53	0,74	-4,78
4,06	0,74	-4,85
4,55	0,74	-4,85
5,08	0,74	-5,13
5,61	0,74	-5,13
6,10	0,74	-5,13
7,11	0,74	-5,38
8,18	0,74	-5,66
9,17	0,74	-5,64
10,16	0,69	-5,64
11,18	0,69	-5,64
12,17	0,69	-5,84
13,21	0,68	-5,89
14,22	0,67	-5,92
15,32	0,66	-6,07
16,33	0,66	-6,17

⁽¹⁾ ASTM D4253-00 ⁽²⁾ ASTM D.4254 - 01

ENSAYO DE CORTE DIRECTO CONSOLIDADO NO DRENADO

ASTM D3080 - 03

IDENTIFICACIÓN

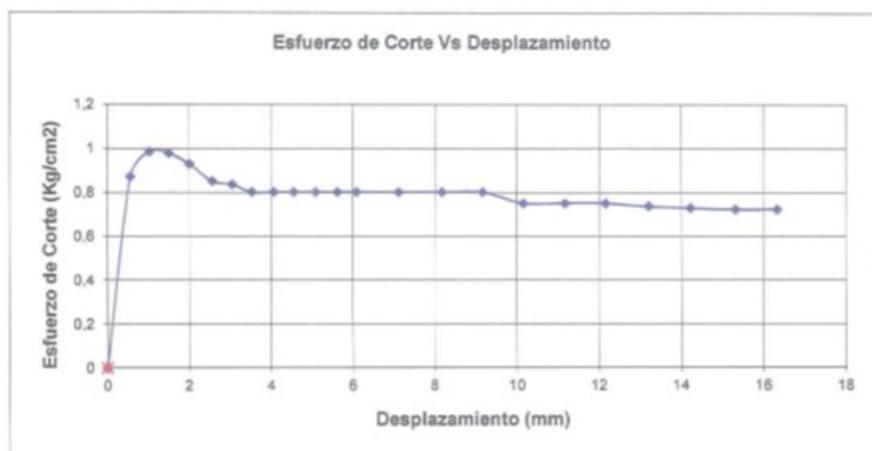
Correlativo Lab. N°: S-7993

FECHA: 24-04-14

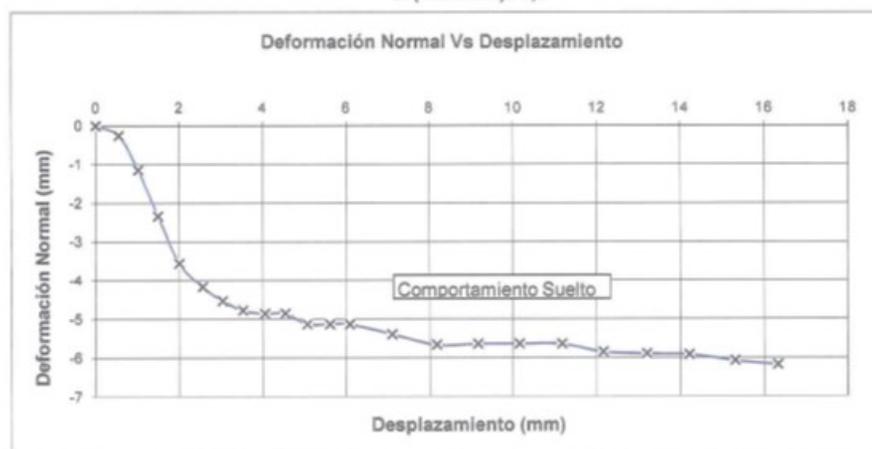
Prof (m): 1,90-4,10

PROBETA NUMERO 2

PRESION NORMAL = 1 Kg / cm 2



τ (kg/cm²): 1
 τ res (kg/cm²): 0,72
 d_r (mm/min): 2,0





INFORME ENSAYO N° 210

ENSAYO DE CORTE DIRECTO CONSOLIDADO NO DRENADO

ASTM D3080 - 03

PROYECTO: Ruta 16 Camino Alto Hospicio

CLIENTE: Sacyr Chile S.A.

DIRECCIÓN: Avda Vitacura N°2939 Of.1102, Las Condes

IDENTIFICACIÓN

FECHA: 24-04-14

Correlativo Lab. N°: S-7993
 Sondaje/Calicata: C-1
 Prof (m): 1,90-4,10
 Diám. Probeta(cm): 5,00
 Altura (cm): 2,54

Densidad Humeda (Kg/dm³): 1,732
 Humedad (%): 1,9
 Densidad Seca (Kg/dm³): 1,700
 Densidad Relativa (%): -
 Dens. Máxima Seca (kg/dm³) (1): -
 Dens. Mínima Seca (kg/dm³) (2): -
 Estructura del Suelo: -

PROBETA NUMERO 3

PRESION NORMAL = 2 Kg / cm 2

MEDICIONES EFECTUADAS

Deformación Longitudinal (mm)	Esfuerzo de Corte (Kg/cm ²)	Deformación Normal (mm)
0,00	0,00	0,00
0,48	1,48	0,00
0,97	1,85	-0,51
1,52	1,82	-2,03
2,03	1,68	-3,05
2,54	1,57	-3,63
3,10	1,47	-3,96
3,63	1,41	-4,06
4,14	1,38	-4,11
4,60	1,39	-4,11
5,11	1,34	-4,14
5,61	1,33	-4,11
6,10	1,33	-4,14
7,14	1,34	-4,17
8,18	1,33	-4,57
9,14	1,32	-4,57
10,16	1,33	-4,57
11,20	1,34	-4,57
12,24	1,30	-4,57
13,23	1,29	-4,57
14,38	1,25	-4,57
15,27	1,28	-4,57
16,28	1,27	-4,57

⁽¹⁾ ASTM D4253-00 ⁽²⁾ ASTM D.4254 - 02

ENSAYO DE CORTE DIRECTO CONSOLIDADO NO DRENADO

ASTM D3080 - 03

IDENTIFICACIÓN

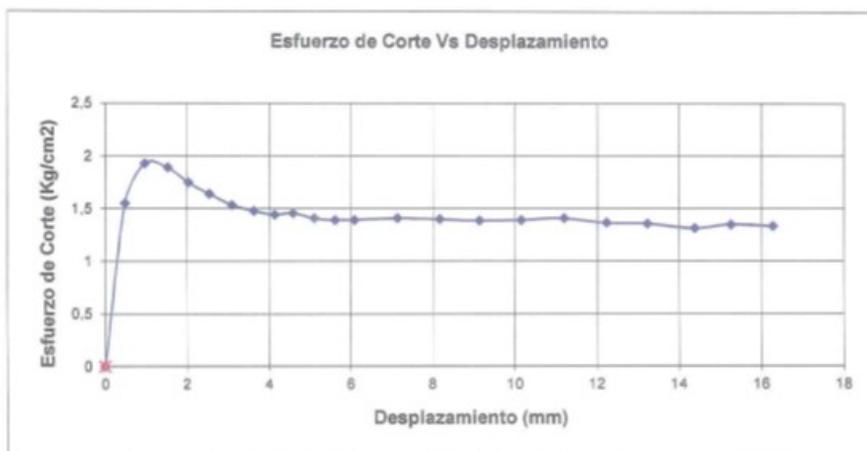
Correlativo Lab. N°: S-7993

FECHA: 24-04-14

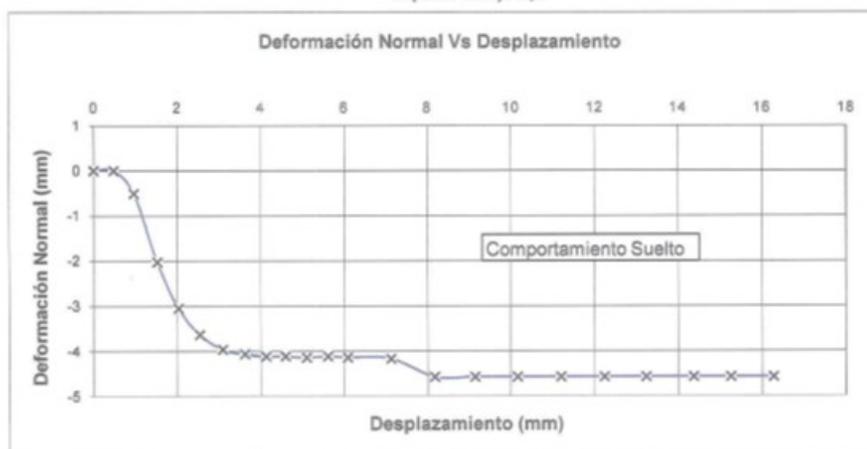
Prof (m): 1,90-4,10

PROBETA NUMERO 3

PRESION NORMAL =

2 Kg / cm²

τ (kg/cm²): 1,93
 τ res (kg/cm²): 1,31
 dr (mm/min): 2,0



ENSAYO DE CORTE DIRECTO CONSOLIDADO NO DRENADO

ASTM D3080 - 03

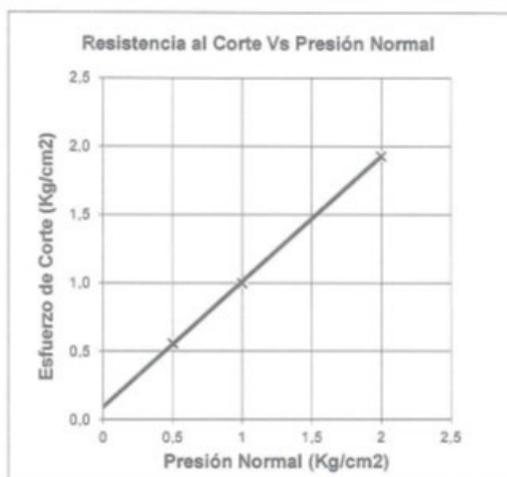
IDENTIFICACIÓN

Correlativo Lab. N°: S-7993

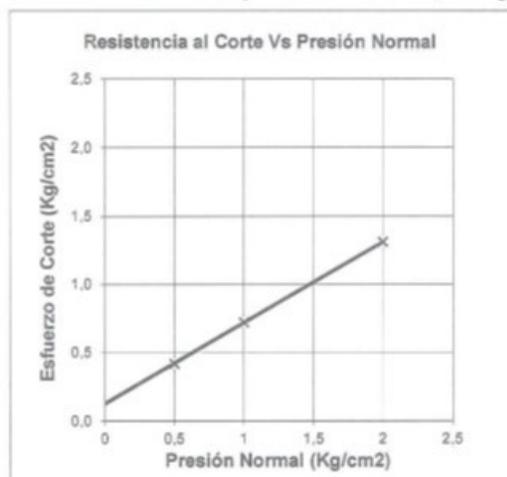
FECHA: 24-04-14

Prof (m): 1,90-4,10

Angulo de Fricción Interna Máximo = 42,5 °
Cohesión Correspondiente = 0,095 Kg/cm²



Angulo de Fricción Interna residual = 30,7 °
Cohesión Correspondiente = 0,125 Kg/cm²





INFORME ENSAYO N° 210

ENSAYO DE CORTE DIRECTO CONSOLIDADO NO DRENADO

ASTM D3080 - 03

PROYECTO: Ruta 16 Alto Hospicio

CLIENTE: Sacyr Chile S.A.

DIRECCIÓN: Avda Vitacura N°2939 Of. 1102, Las Condes.

IDENTIFICACIÓN

FECHA: 24-04-14

Correlativo Lab. N°: S-7994

Sondaje/Calicata: C-2

Prof (m): 2,30-5,00

Diám. Probeta(cm): 5,00

Altura (cm): 2,54

Densidad Humeda (Kg/dm3): 1,741

Humedad (%): 2,4

Densidad Seca (Kg/dm3): 1,700

Densidad Relativa (%): -

Dens. Máxima Seca (kg/dm3) (1): -

Dens. Mínima Seca (kg/dm3) (2): -

Estructura del Suelo: -

PROBETA NUMERO 1

PRESION NORMAL = 0,5 Kg / cm 2

MEDICIONES EFECTUADAS

Deformación Longitudinal (mm)	Esfuerzo de Corte (Kg/cm2)	Deformación Normal (mm)
0,00	0,00	0,00
0,56	0,47	-0,38
1,02	0,53	-1,78
1,50	0,48	-2,84
2,03	0,42	-3,56
2,54	0,39	-3,86
3,05	0,39	-4,09
3,53	0,38	-4,39
4,06	0,39	-4,57
4,57	0,37	-4,78
5,08	0,39	-4,85
5,64	0,39	-4,85
6,10	0,38	-5,08
7,11	0,37	-5,11
8,13	0,37	-5,36
9,12	0,37	-5,36
10,24	0,37	-5,36
11,20	0,37	-5,36
12,09	0,38	-5,64
13,26	0,37	-5,64
14,22	0,40	-5,66
15,24	0,37	-5,94
16,31	0,41	-5,89

(1) ASTM D4253-00 (2) ASTM D.4254 - 00

ENSAYO DE CORTE DIRECTO CONSOLIDADO NO DRENADO

ASTM D3080 - 03

IDENTIFICACIÓN

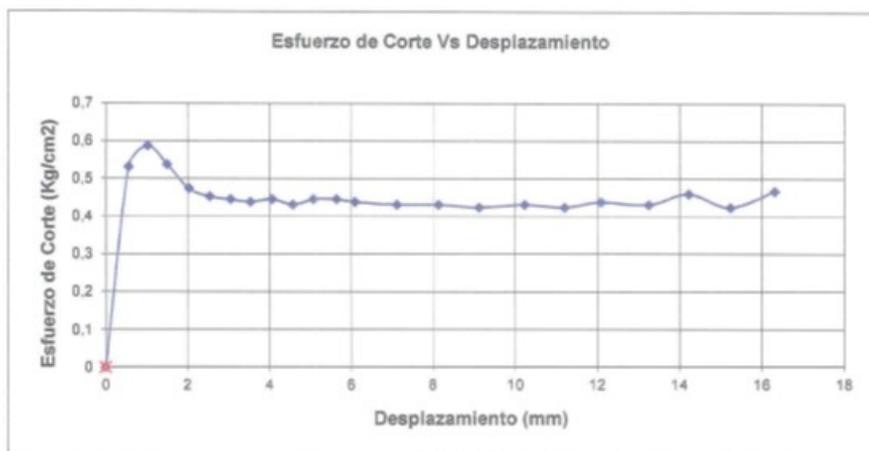
Correlativo Lab. N°: S-7994

FECHA: 24-04-14

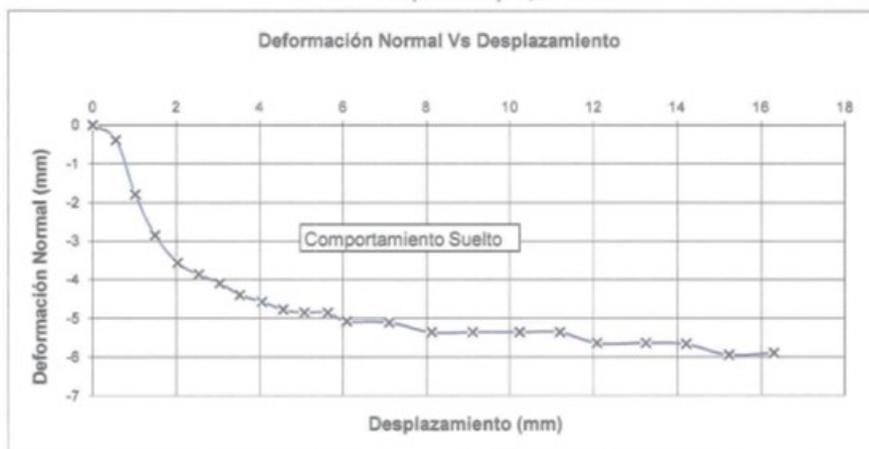
Prof (m): 2,30-5,00

PROBETA NUMERO 1

PRESION NORMAL = 0,5 Kg / cm 2



τ (kg/cm2): 0,59
 τ res (kg/cm2): 0,42
 dr (mm/min): 2,0





INFORME ENSAYO N° 210

ENSAYO DE CORTE DIRECTO CONSOLIDADO NO DRENADO

ASTM D3080 - 03

PROYECTO: Ruta 16 Alto Hospicio

CLIENTE: Sacyr Chile S.A.

DIRECCIÓN: Avda Vitacura N°2939 Of. 1102, Las Condes.

IDENTIFICACIÓN

FECHA: 24-04-14

Correlativo Lab. N°: S-7994

Densidad Humeda (Kg/dm³): 1,741

Sondaje/Calicata: C-2

Humedad (%): 2,4

Prof (m): 2,30-5,00

Densidad Seca (Kg/dm³): 1,700

Diám. Probeta(cm): 5,00

Densidad Relativa (%): -

Altura (cm): 2,54

Dens. Máxima Seca (kg/dm³) (1): -

Dens. Mínima Seca (kg/dm³) (2): -

Estructura del Suelo: -

PROBETA NUMERO 2

PRESION NORMAL = 1 Kg / cm²

MEDICIONES EFECTUADAS

Deformación Longitudinal (mm)	Esfuerzo de Corte (Kg/cm ²)	Deformación Normal (mm)
0,00	0,00	0,00
0,51	0,69	0,00
1,02	0,94	-0,51
1,57	0,85	-1,57
2,06	0,78	-1,91
2,59	0,72	-2,29
3,07	0,69	-2,31
3,53	0,70	-2,34
4,04	0,69	-2,31
4,57	0,67	-2,31
5,08	0,68	-2,31
5,61	0,68	-2,31
6,07	0,68	-2,31
7,14	0,70	-2,31
8,13	0,72	-2,31
9,17	0,71	-2,57
10,21	0,72	-2,79
11,18	0,70	-2,84
12,19	0,68	-2,84
13,26	0,66	-2,84
14,22	0,65	-2,84
15,27	0,66	-2,84
16,26	0,65	-3,12

⁽¹⁾ ASTM D4253-00 ⁽²⁾ ASTM D.4254 - 01

ENSAYO DE CORTE DIRECTO CONSOLIDADO NO DRENADO

ASTM D3080 - 03

IDENTIFICACIÓN

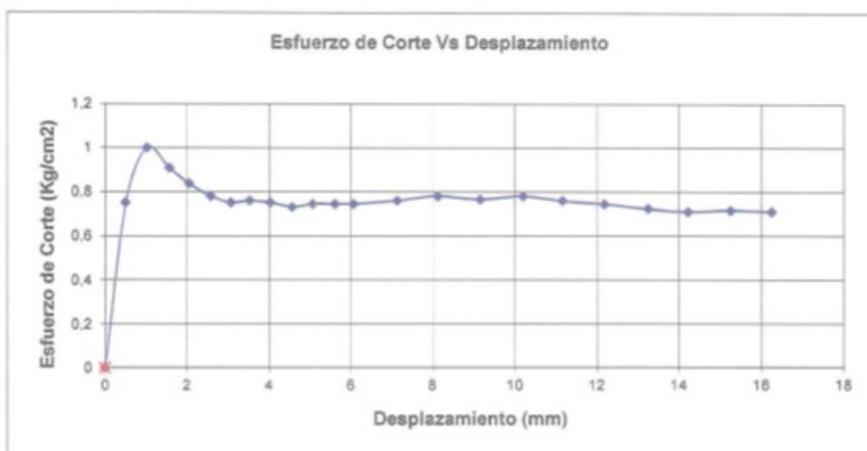
Correlativo Lab. N°: S-7994

FECHA: 24-04-14

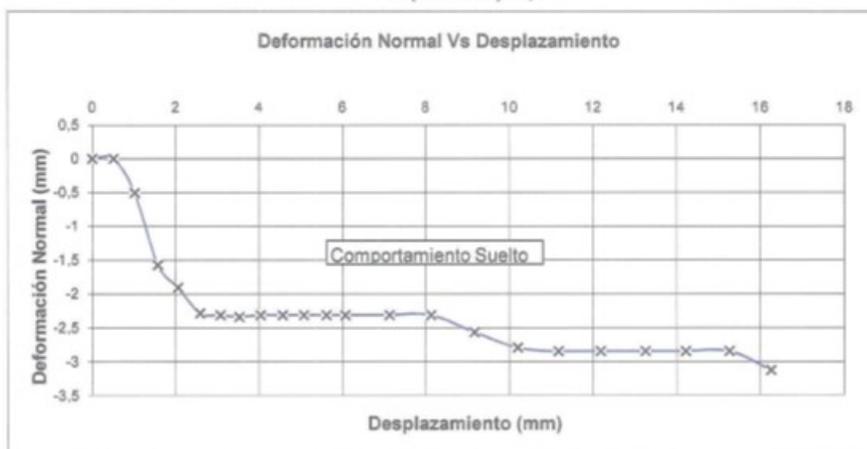
Prof (m): 2,30-5,00

PROBETA NUMERO 2

PRESION NORMAL = 1 Kg / cm 2



τ (kg/cm²): 1
 τ res (kg/cm²): 0,71
 dr(mm/min): 2,0





INFORME ENSAYO N° 210

ENSAYO DE CORTE DIRECTO CONSOLIDADO NO DRENADO

ASTM D3080 - 03

PROYECTO: Ruta 16 Alto Hospicio

CLIENTE: Sacyr Chile S.A.

DIRECCIÓN: Avda Vitacura N°2939 Of. 1102, Las Condes.

IDENTIFICACIÓN

FECHA: 24-04-14

Correlativo Lab. N°: S-7994
 Sondeje/Calicata: C-2
 Prof (m): 2,30-5,00
 Diám. Probeta(cm): 5,00
 Altura (cm): 2,54

Densidad Humeda (Kg/dm3): 1,741
 Humedad (%): 2,4
 Densidad Seca (Kg/dm3): 1,700
 Densidad Relativa (%): -
 Dens. Máxima Seca (kg/dm3) (1): -
 Dens. Mínima Seca (kg/dm3) (2): -
 Estructura del Suelo: -

PROBETA NUMERO 3

PRESION NORMAL = 2 Kg / cm 2

MEDICIONES EFECTUADAS

Deformación Longitudinal (mm)	Esfuerzo de Corte (Kg/cm2)	Deformación Normal (mm)
0,00	0,00	0,00
0,48	1,48	0,15
1,02	1,80	-0,38
1,55	1,66	-1,57
2,06	1,50	-2,29
2,57	1,40	-2,54
3,10	1,36	-2,74
3,56	1,35	-2,84
4,04	1,34	-2,84
4,55	1,34	-2,84
5,11	1,34	-2,84
5,66	1,36	-2,84
6,12	1,33	-2,84
7,16	1,36	-2,84
8,15	1,35	-3,12
9,14	1,32	-3,12
10,19	1,31	-3,12
11,15	1,30	-3,12
12,19	1,33	-3,10
13,21	1,29	-3,10
14,20	1,30	-3,30
15,21	1,27	-3,38
16,26	1,30	-3,63

⁽¹⁾ ASTM D4253-00 ⁽²⁾ ASTM D.4254 - 02

ENSAYO DE CORTE DIRECTO CONSOLIDADO NO DRENADO

ASTM D3080 - 03

IDENTIFICACIÓN

Correlativo Lab. N°: S-7994

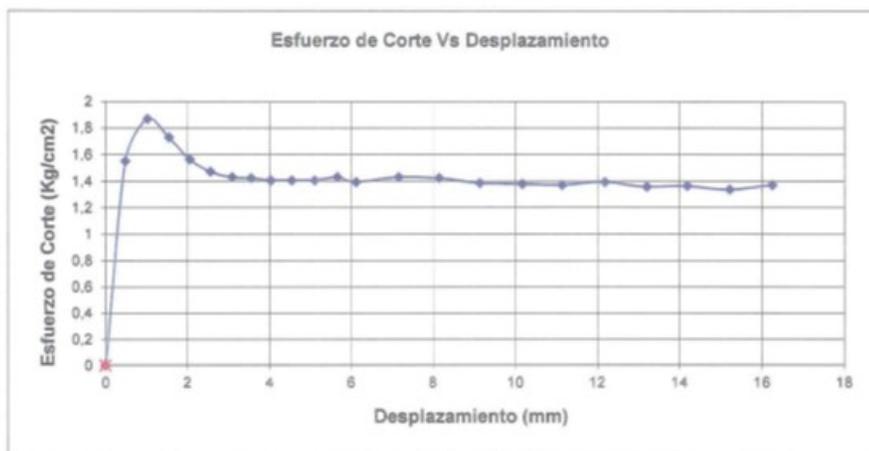
FECHA: 24-04-14

Prof (m): 2,30-5,00

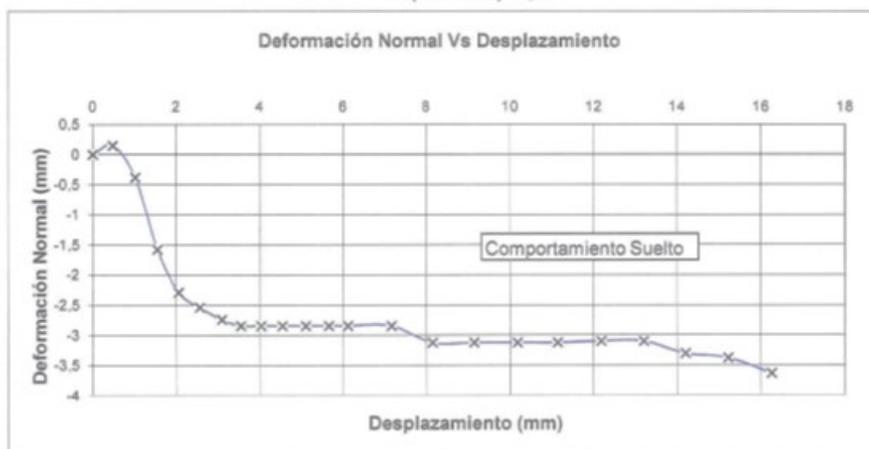
PROBETA NUMERO 3

PRESION NORMAL =

2 Kg / cm 2



τ (kg/cm2): 1,87
 τ res (kg/cm2): 1,34
 dr (mm/min): 2,0



ENSAYO DE CORTE DIRECTO CONSOLIDADO NO DRENADO

ASTM D3080 - 03

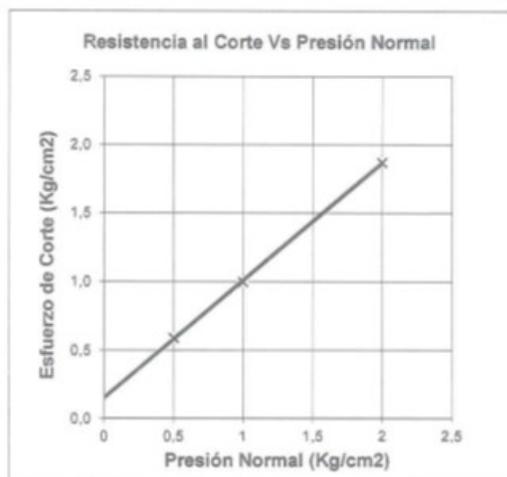
IDENTIFICACIÓN

Correlativo Lab. N°: S-7994

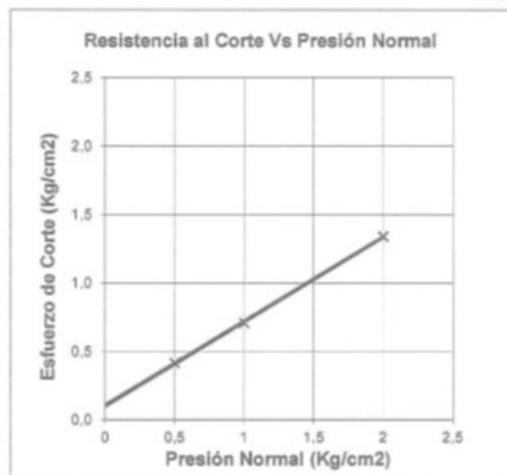
FECHA: 24-04-14

Prof (m): 2,30-5,00

Angulo de Fricción Interna Máximo = 40,6 °
Cohesión Correspondiente = 0,155 Kg/cm²



Angulo de Fricción Interna residual = 31,8 °
Cohesión Correspondiente = 0,105 Kg/cm²





INFORME ENSAYO N° 210

ENSAYO DE CORTE DIRECTO CONSOLIDADO NO DRENADO

ASTM D3080 - 03

PROYECTO: Ruta 16 Alto Hospicio

CLIENTE: Sacyr Chile S.A.

DIRECCIÓN: Avda Vitacura N°2939 Of.1102, Las Condes.

IDENTIFICACIÓN

FECHA: 24-04-14

Correlativo Lab. N°: S-7995
 Sondaje/Calicata: C-3
 Prof (m): 1,10-4,50
 Diám. Probeta(cm): 5,00
 Altura (cm): 2,54

Densidad Humeda (Kg/dm3): 1,746
 Humedad (%): 2,7
 Densidad Seca (Kg/dm3): 1,700
 Densidad Relativa (%): -
 Dens. Máxima Seca (kg/dm3) (1): -
 Dens. Mínima Seca (kg/dm3) (2): -
 Estructura del Suelo: -

PROBETA NUMERO 1

PRESION NORMAL = 0,5 Kg / cm 2

MEDICIONES EFECTUADAS

Deformación Longitudinal (mm)	Esfuerzo de Corte (Kg/cm2)	Deformación Normal (mm)
0,00	0,00	0,00
0,53	0,47	-0,25
1,02	0,54	-1,02
1,50	0,54	-2,11
2,03	0,53	-3,05
2,54	0,48	-3,66
3,07	0,45	-4,11
3,56	0,44	-4,55
4,14	0,42	-4,72
4,60	0,42	-4,78
5,03	0,39	-4,83
5,59	0,40	-4,85
6,10	0,40	-5,08
7,16	0,39	-5,38
8,15	0,44	-5,38
9,17	0,42	-5,38
10,16	0,42	-5,69
11,20	0,42	-5,84
12,17	0,40	-5,84
13,23	0,42	-5,92
14,22	0,42	-6,10
15,24	0,42	-6,17
16,31	0,42	-6,38

⁽¹⁾ ASTM D4253-00 ⁽²⁾ ASTM D.4254 - 00

ENSAYO DE CORTE DIRECTO CONSOLIDADO NO DRENADO

ASTM D3080 - 03

IDENTIFICACIÓN

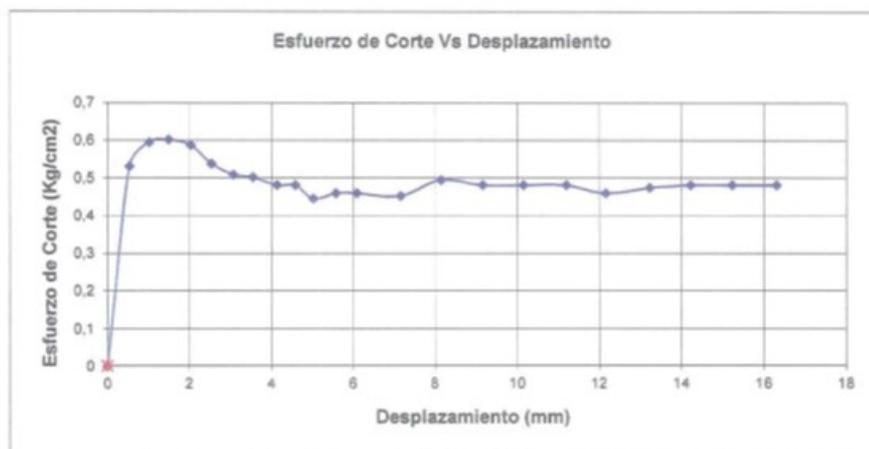
Correlativo Lab. N°: S-7995

FECHA: 24-04-14

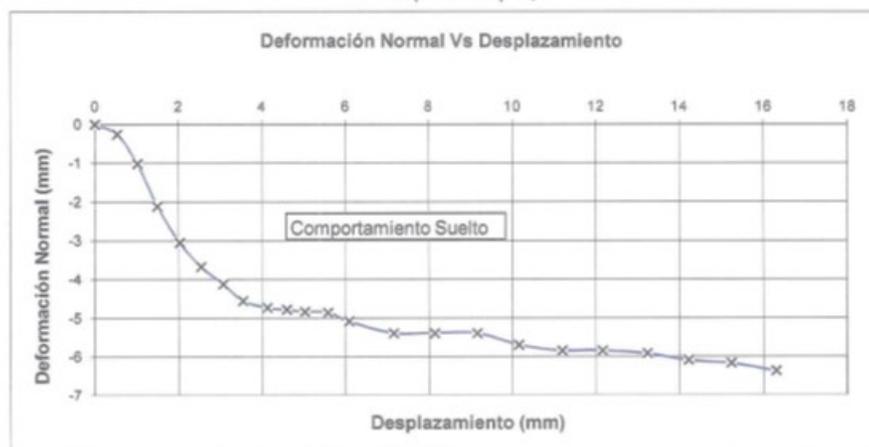
Prof (m): 1,10-4,50

PROBETA NUMERO 1

PRESION NORMAL = 0,5 Kg / cm 2



τ (kg/cm²): 0,6
 τ res (kg/cm²): 0,44
 dr(mm/min): 2,0





INFORME ENSAYO N° 210

ENSAYO DE CORTE DIRECTO CONSOLIDADO NO DRENADO

ASTM D3080 - 03

PROYECTO: Ruta 16 Alto Hospicio

CLIENTE: Sacyr Chile S.A.

DIRECCIÓN: Avda Vitacura N°2939 Of.1102, Las Condes.

IDENTIFICACIÓN

FECHA: 24-04-14

Correlativo Lab. N°: S-7995
 Sondaje/Calicata: C-3
 Prof (m): 1,10-4,50
 Diám. Probeta(cm): 5,00
 Altura (cm): 2,54

Densidad Humeda (Kg/dm3): 1,746
 Humedad (%): 2,7
 Densidad Seca (Kg/dm3): 1,700
 Densidad Relativa (%): -
 Dens. Máxima Seca (kg/dm3) (1): -
 Dens. Mínima Seca (kg/dm3) (2): -
 Estructura del Suelo: -

PROBETA NUMERO 2

PRESION NORMAL = 1 Kg / cm 2

MEDICIONES EFECTUADAS

Deformación Longitudinal (mm)	Esfuerzo de Corte (Kg/cm2)	Deformación Normal (mm)
0,00	0,00	0,00
0,51	0,59	0,00
1,02	0,90	-0,08
1,50	0,94	-0,76
2,03	0,92	-1,40
2,51	0,85	-2,03
3,05	0,81	-2,31
3,61	0,80	-2,59
4,06	0,79	-2,92
4,57	0,80	-3,05
5,11	0,79	-3,12
5,64	0,78	-3,30
6,12	0,77	-3,30
7,11	0,76	-3,38
8,10	0,76	-3,56
9,14	0,77	-3,78
10,16	0,77	-3,81
11,20	0,77	-4,09
12,17	0,78	-4,50
13,23	0,79	-4,57
14,25	0,79	-4,78
15,29	0,78	-4,78
16,33	0,76	-4,78

⁽¹⁾ ASTM D4253-00 ⁽²⁾ ASTM D.4254 - 01



INFORME ENSAYO N° 210

ENSAYO DE CORTE DIRECTO CONSOLIDADO NO DRENADO

ASTM D3080 - 03

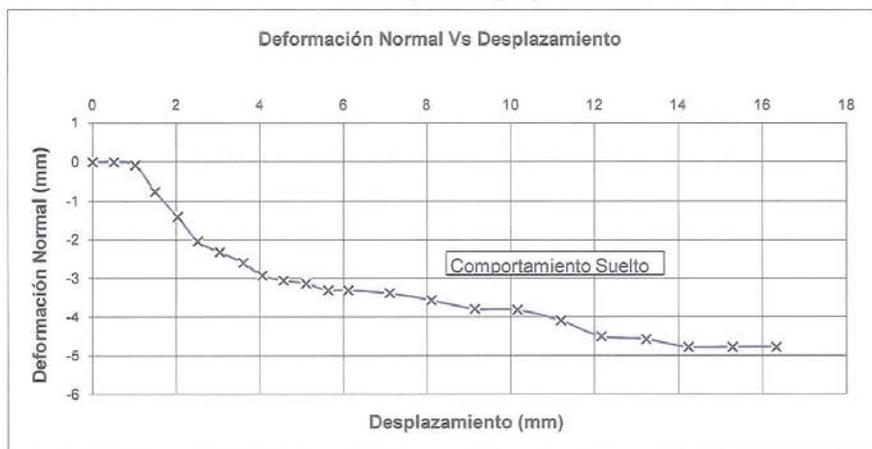
IDENTIFICACIÓN
Correlativo Lab. N°: S-7995

FECHA: 24-04-14
Prof (m): 1,10-4,50

PROBETA NUMERO 2 PRESION NORMAL = 1 Kg / cm 2



τ (kg/cm²): 1
 τ res (kg/cm²): 0,82
 dr(mm/min): 2,0





INFORME ENSAYO N° 210

ENSAYO DE CORTE DIRECTO CONSOLIDADO NO DRENADO

ASTM D3080 - 03

PROYECTO: Ruta 16 Alto Hospicio

CLIENTE: Sacyr Chile S.A.

DIRECCIÓN: Avda Vitacura N°2939 Of.1102, Las Condes.

IDENTIFICACIÓN

FECHA: 24-04-14

Correlativo Lab. N°: S-7995
 Sondaje/Calicata: C-3
 Prof (m): 1,10-4,50
 Diám. Probeta(cm): 5,00
 Altura (cm): 2,54

Densidad Humeda (Kg/dm3): 1,746
 Humedad (%): 2,7
 Densidad Seca (Kg/dm3): 1,700
 Densidad Relativa (%): -
 Dens. Máxima Seca (kg/dm3) (1): -
 Dens. Mínima Seca (kg/dm3) (2): -
 Estructura del Suelo: -

PROBETA NUMERO 3

PRESION NORMAL = 2 Kg / cm 2

MEDICIONES EFECTUADAS

Deformación Longitudinal (mm)	Esfuerzo de Corte (Kg/cm2)	Deformación Normal (mm)
0,00	0,00	0,00
0,43	1,38	-0,05
0,97	1,80	-0,51
1,52	1,68	-1,14
2,08	1,52	-1,52
2,54	1,52	-1,78
3,07	1,50	-1,96
3,56	1,48	-2,03
3,99	1,48	-2,03
4,55	1,48	-2,06
5,08	1,48	-2,06
5,56	1,45	-2,06
6,10	1,48	-2,06
7,14	1,47	-2,29
8,15	1,45	-2,29
9,14	1,50	-2,54
10,16	1,47	-2,54
11,18	1,45	-2,57
12,22	1,42	-2,57
13,26	1,41	-2,84
14,27	1,40	-2,84
15,29	1,37	-3,12
16,26	1,36	-3,12

⁽¹⁾ ASTM D4253-00 ⁽²⁾ ASTM D.4254 - 02

ENSAYO DE CORTE DIRECTO CONSOLIDADO NO DRENADO

ASTM D3080 - 03

IDENTIFICACIÓN

Correlativo Lab. N°: S-7995

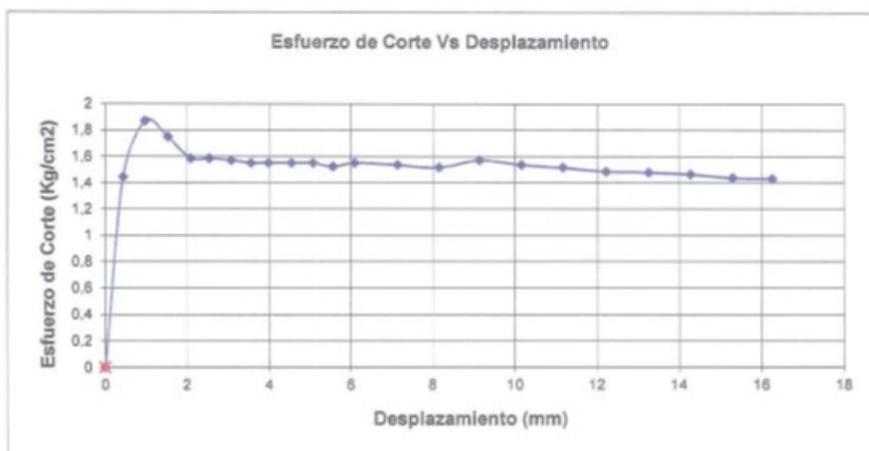
FECHA: 24-04-14

Prof (m): 1,10-4,50

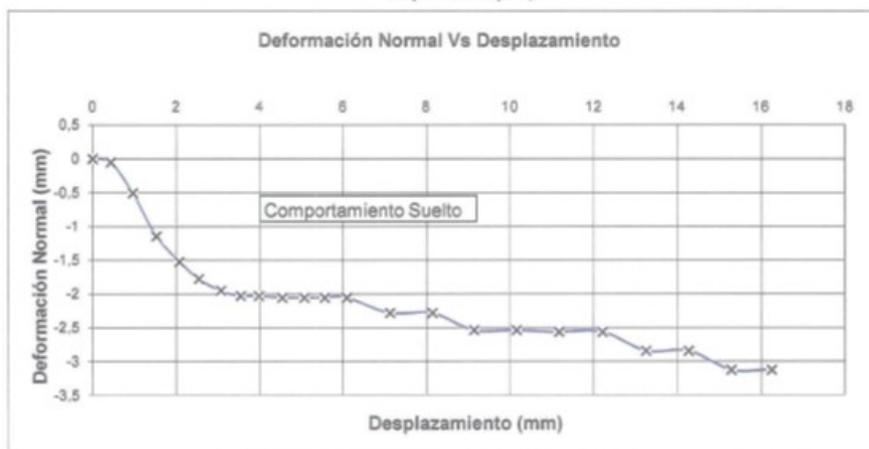
PROBETA NUMERO 3

PRESION NORMAL =

2 Kg / cm 2



τ (kg/cm²): 1,87
 τ res (kg/cm²): 1,43
 d_r (mm/min): 2,0



ENSAYO DE CORTE DIRECTO CONSOLIDADO NO DRENADO

ASTM D3080 - 03

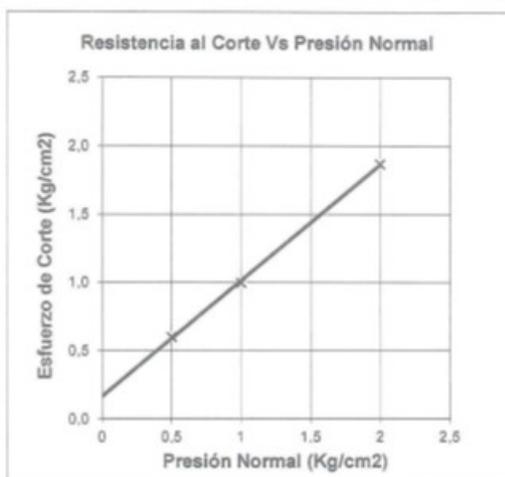
IDENTIFICACIÓN

Correlativo Lab. N°: S-7995

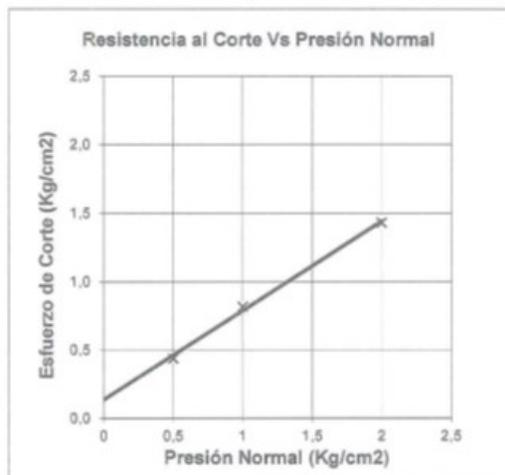
FECHA: 24-04-14

Prof (m): 1,10-4,50

Angulo de Fricción Interna Máximo = 40,4 °
Cohesión Correspondiente = 0,165 Kg/cm²



Angulo de Fricción Interna residual = 33,1 °
Cohesión Correspondiente = 0,135 Kg/cm²





INFORME ENSAYO N° 210

ENSAYO DE CORTE DIRECTO CONSOLIDADO NO DRENADO

ASTM D3080 - 03

PROYECTO: Ruta 16 Alto Hospicio

CLIENTE: Sacyr Chile S.A.

DIRECCIÓN: Avda Vitacura N°2939 Of.1102, Las Condes.

IDENTIFICACIÓN

FECHA: 24-04-14

Correlativo Lab. N°: S-7996
 Sondaje/Calicata: C-4
 Prof (m): 0,32-1,60
 Diám. Probeta(cm): 5,00
 Altura (cm): 2,54

Densidad Humeda (Kg/dm3): 1,724
 Humedad (%): 1,4
 Densidad Seca (Kg/dm3): 1,700
 Densidad Relativa (%): -
 Dens. Máxima Seca (kg/dm3) (1): -
 Dens. Mínima Seca (kg/dm3) (2): -
 Estructura del Suelo: -

PROBETA NUMERO 1

PRESION NORMAL = 0,5 Kg / cm 2

MEDICIONES EFECTUADAS

Deformación Longitudinal (mm)	Esfuerzo de Corte (Kg/cm2)	Deformación Normal (mm)
0,00	0,00	0,00
0,51	0,45	0,00
1,02	0,47	-0,86
1,55	0,46	-1,70
2,06	0,44	-2,06
2,54	0,42	-2,31
3,05	0,42	-2,51
3,58	0,42	-2,57
4,06	0,42	-2,57
4,57	0,44	-2,57
5,05	0,42	-2,67
5,56	0,41	-2,84
6,07	0,41	-2,84
7,14	0,41	-3,15
8,18	0,40	-3,30
9,17	0,41	-3,38
10,19	0,41	-3,38
11,18	0,42	-3,56
12,19	0,41	-3,63
13,23	0,44	-4,06
14,22	0,42	-4,11
15,29	0,41	-4,24
16,26	0,42	-4,37

⁽¹⁾ ASTM D4253-00 ⁽²⁾ ASTM D.4254 - 00

ENSAYO DE CORTE DIRECTO CONSOLIDADO NO DRENADO

ASTM D3080 - 03

IDENTIFICACIÓN

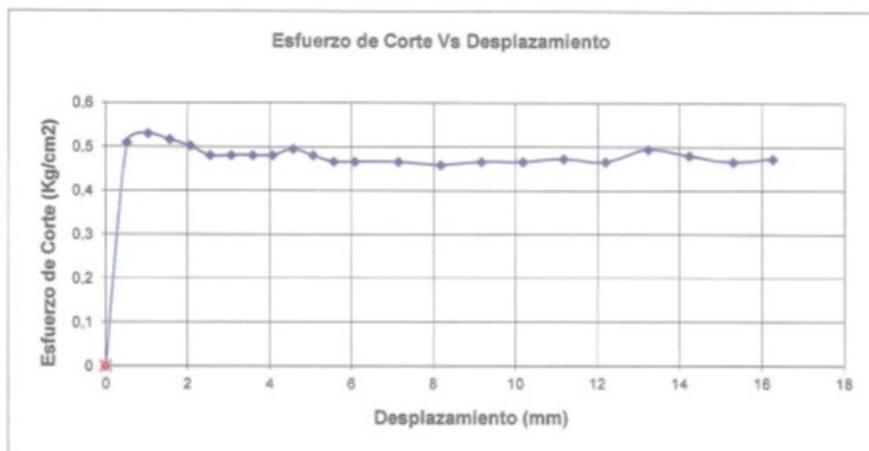
Correlativo Lab. N°: S-7996

FECHA: 24-04-14

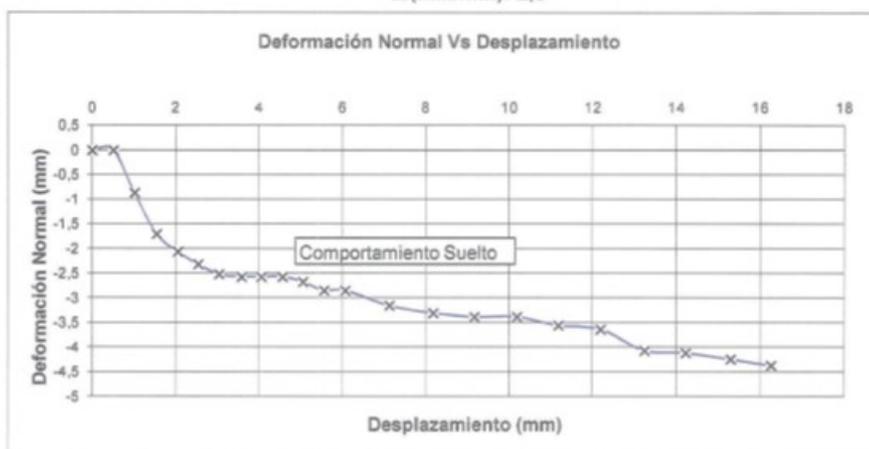
Prof (m): 0,32-1,60

PROBETA NUMERO 1

PRESION NORMAL = 0,5 Kg / cm 2



τ (kg/cm2): 0,53
 τ res (kg/cm2): 0,46
 dr (mm/min): 2,0





INFORME ENSAYO N° 210

ENSAYO DE CORTE DIRECTO CONSOLIDADO NO DRENADO

ASTM D3080 - 03

PROYECTO: Ruta 16 Alto Hospicio

CLIENTE: Sacyr Chile S.A.

DIRECCIÓN: Avda Vitacura N°2939 Of.1102, Las Condes.

IDENTIFICACIÓN

FECHA: 24-04-14

Correlativo Lab. N°: S-7996

Sondaje/Calicata: C-4

Prof (m): 0,32-1,60

Diám. Probeta(cm): 5,00

Altura (cm): 2,54

Densidad Humeda (Kg/dm3): 1,724

Humedad (%): 1,4

Densidad Seca (Kg/dm3): 1,700

Densidad Relativa (%): -

Dens. Máxima Seca (kg/dm3) (1): -

Dens. Mínima Seca (kg/dm3) (2): -

Estructura del Suelo: -

PROBETA NUMERO 2

PRESION NORMAL = 1 Kg / cm 2

MEDICIONES EFECTUADAS

Deformación Longitudinal (mm)	Esfuerzo de Corte (Kg/cm2)	Deformación Normal (mm)
0,00	0,00	0,00
0,53	0,70	0,18
0,99	0,88	0,13
1,52	0,88	-0,51
2,03	0,85	-0,84
2,57	0,80	-1,09
3,05	0,75	-1,27
3,56	0,77	-1,32
4,06	0,76	-1,37
4,57	0,76	-1,57
5,11	0,75	-1,55
5,56	0,74	-1,22
6,10	0,74	-1,24
7,19	0,73	-1,22
8,20	0,73	-1,22
9,17	0,73	-1,22
10,21	0,71	-1,22
11,23	0,71	-1,30
12,22	0,71	-1,57
13,21	0,71	-1,78
14,22	0,72	-2,03
15,24	0,71	-2,06
16,26	0,72	-2,06

⁽¹⁾ ASTM D4253-00 ⁽²⁾ ASTM D.4254 - 01

ENSAYO DE CORTE DIRECTO CONSOLIDADO NO DRENADO

ASTM D3080 - 03

IDENTIFICACIÓN

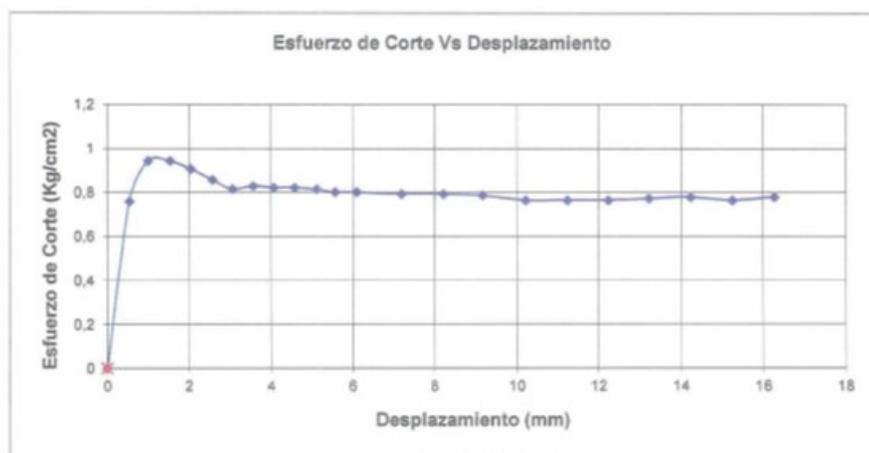
Correlativo Lab. N°: S-7996

FECHA: 24-04-14

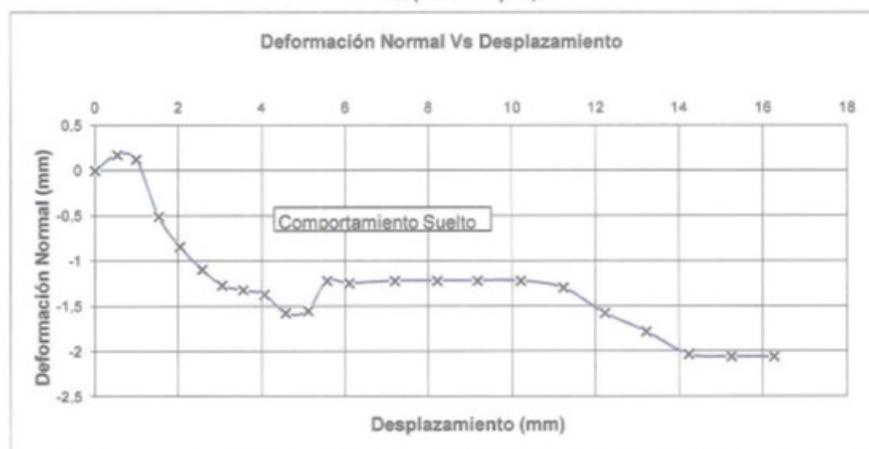
Prof (m): 0,32-1,60

PROBETA NUMERO 2

PRESION NORMAL = 1 Kg / cm 2



τ (kg/cm2): 0,94
 τ res (kg/cm2): 0,76
 dr (mm/min): 2,0





INFORME ENSAYO N° 210

ENSAYO DE CORTE DIRECTO CONSOLIDADO NO DRENADO

ASTM D3080 - 03

PROYECTO: Ruta 16 Alto Hospicio

CLIENTE: Sacyr Chile S.A.

DIRECCIÓN: Avda Vitacura N°2939 Of.1102, Las Condes.

IDENTIFICACIÓN

FECHA: 24-04-14

Correlativo Lab. N°: S-7996
 Sondaje/Calicata: C-4
 Prof (m): 0,32-1,60
 Diám. Probeta(cm): 5,00
 Altura (cm): 2,54

Densidad Humeda (Kg/dm3): 1,724
 Humedad (%): 1,4
 Densidad Seca (Kg/dm3): 1,700
 Densidad Relativa (%): -
 Dens. Máxima Seca (kg/dm3) (1): -
 Dens. Mínima Seca (kg/dm3) (2): -
 Estructura del Suelo: -

PROBETA NUMERO 3

PRESION NORMAL = 2 Kg / cm 2

MEDICIONES EFECTUADAS

Deformación Longitudinal (mm)	Esfuerzo de Corte (Kg/cm2)	Deformación Normal (mm)
0,00	0,00	0,00
0,46	1,30	0,38
0,97	1,65	0,30
1,50	1,66	-0,13
2,06	1,55	-0,84
2,59	1,46	-1,27
3,07	1,45	-1,35
3,56	1,45	-1,57
4,09	1,45	-1,60
4,57	1,45	-1,78
5,08	1,45	-1,78
5,59	1,45	-1,78
6,10	1,46	-1,78
7,16	1,45	-1,83
8,15	1,41	-2,06
9,14	1,41	-2,16
10,19	1,40	-2,34
11,20	1,40	-2,57
12,22	1,38	-2,57
13,26	1,40	-2,59
14,30	1,38	-2,59
15,24	1,36	-2,59
16,26	1,37	-2,59

⁽¹⁾ ASTM D4253-00 ⁽²⁾ ASTM D.4254 - 02



INFORME ENSAYO N° 210

ENSAYO DE CORTE DIRECTO CONSOLIDADO NO DRENADO

ASTM D3080 - 03

IDENTIFICACIÓN

Correlativo Lab. N°: S-7996

FECHA: 24-04-14

Prof (m): 0,32-1,60

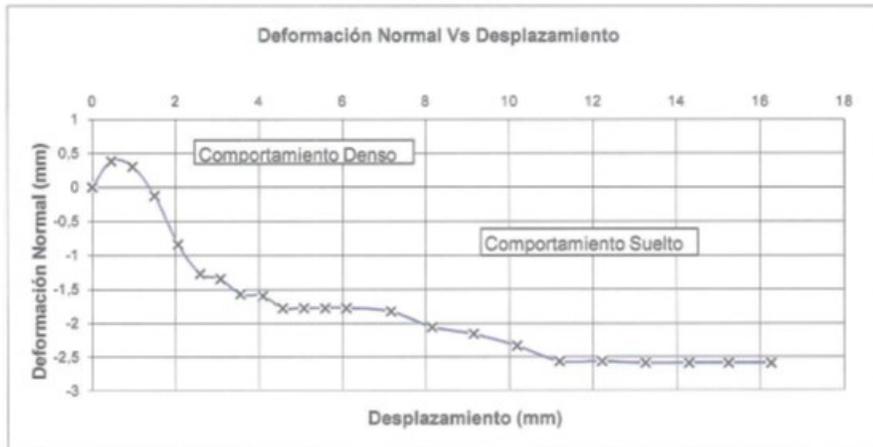
PROBETA NUMERO 3

PRESION NORMAL =

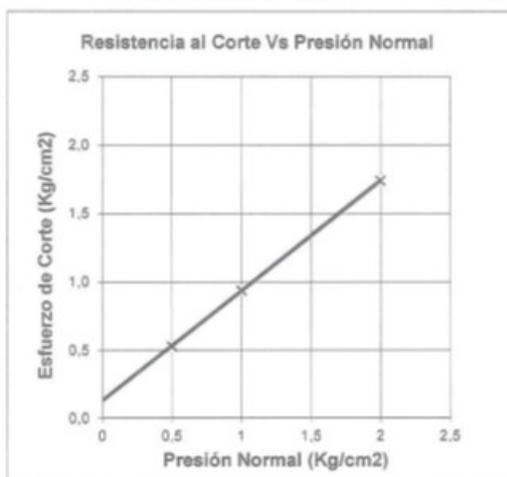
2 Kg / cm 2



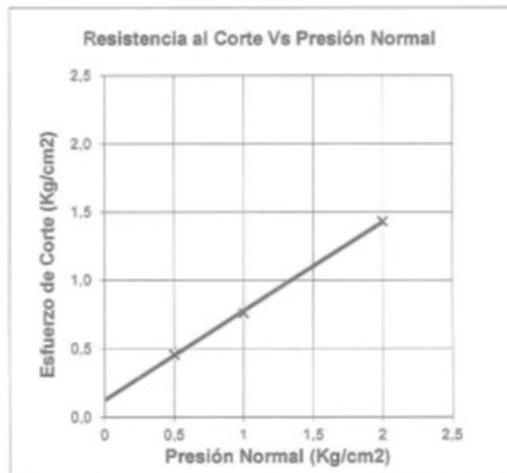
τ (kg/cm²): 1,74
 τ res (kg/cm²): 1,43
 dr (mm/min): 2,0



Angulo de Fricción Interna Máximo = 38,9 °
Cohesión Correspondiente = 0,13 Kg/cm²



Angulo de Fricción Interna residual = 33,0 °
Cohesión Correspondiente = 0,125 Kg/cm²



ANEXO C: INFORME DE SONDAJES GEOTÉCNICOS



MECANICA DE SUELOS
Laboratorio de Mecánica de Suelo - Geo Soil Drill Ltda.
Las Garzas N° 67 San Pedro de La Paz - Concepción
Fono: (41) 2283779 82196856

5.0 RESULTADOS EXPLORACION DEL SUBSUELO SONDAJE KM 6940

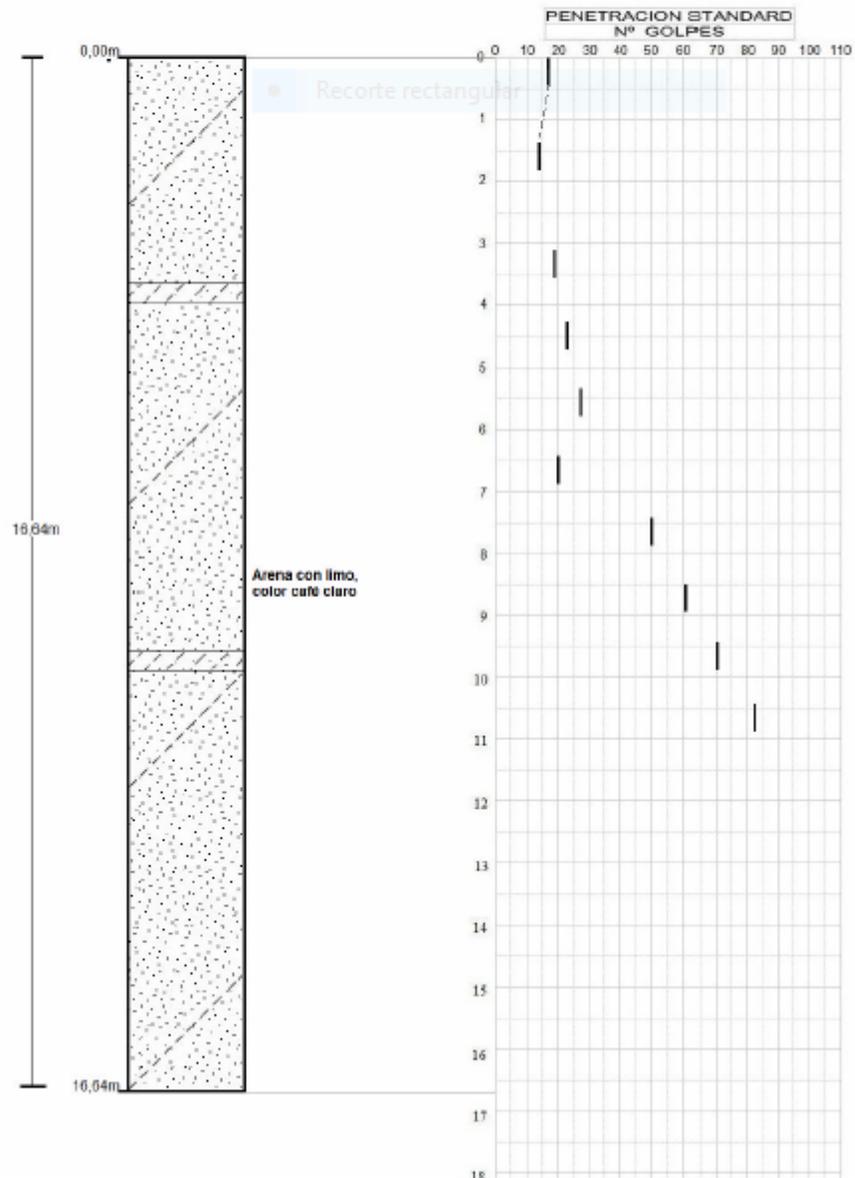
FECHA DE EJECUCION : 10/02/12 INICIO : 10/02/12 TERMINO : 12/02/12
COORDENADAS : NORTE : 7760735,194 ESTE : 382883,084 COTA : 230,18
CONTROL NAPA FREATICA : N/O.

PROFUNDIDAD DE A	DESCRIPCION VISUAL DEL SUBSUELO	MUESTRA		ENSAYO DE PENETRACION ESTANDAR				L (cm)	REC (%)	RQD (%)	PENETRACION DE A	
		N°	TIPO	N1	N2	N3	N					
0.00 16.64	Arena con bajo contenido de limo, color café claro, tamaño fino, humedad baja, compacidad alta. Presenta lentes de limo en media proporción. Trozos de roca de tamaño máximo 2" aproximadamente en media proporción.	1	CN	8	8	9	17	---	---	---	0.00	0.45
		2	CN	5	6	8	14	---	---	---	1.42	1.87
		3	HQ	---	---	---	---	---	---	---	1.88	3.06
		4	CN	6	8	11	19	---	---	---	3.07	3.52
		5	HQ	---	---	---	---	---	---	---	3.53	4.19
		6	CN	7	10	13	23	---	---	---	4.20	4.65
		7	HQ	---	---	---	---	---	---	---	4.66	5.36
		8	CN	10	13	15	28	---	---	---	5.37	5.82
		9	SM	---	---	---	---	---	---	---	5.83	6.43
		10	CN	12	16	20	20	---	---	---	6.44	6.89
		11	HQ	---	---	---	---	---	---	---	6.90	7.41
		12	CN	13	21	29	50	---	---	---	7.42	7.87
		13	HQ	---	---	---	---	---	---	---	7.88	8.49
		14	CN	16	27	34	61	---	---	---	8.50	8.95
		15	HQ	---	---	---	---	---	---	---	8.96	9.46
		16	CN	19	31	39	70	---	---	---	9.47	9.92
		17	HQ	---	---	---	---	---	---	---	9.93	10.48
		18	CN	23	38	44	82	---	---	---	10.43	10.94
		19	SM	---	---	---	---	---	---	---	10.95	11.53
		20	CN	39	50/12/R	---	---	---	---	---	11.54	11.99
		21	HQ	---	---	---	---	---	---	---	12.00	12.42
		22	CN	33	41	50/10/R	---	---	---	---	12.43	12.88
		23	HQ	---	---	---	---	---	---	---	12.89	13.37
		24	SM	35	38	50/9/R	---	---	---	---	13.38	13.83
		25	HQ	---	---	50/12/R	---	---	---	---	13.84	14.51
		26	CN	36	52/10/R	---	---	---	---	---	14.52	14.97
		27	HQ	---	---	---	---	---	---	---	14.98	15.58
		28	SM	9	30/13/R	---	---	---	---	---	15.59	16.64



MECANICA DE SUELOS
 Laboratorio de Mecánica de Suelo - Geo Soil Drill Ltda.
 Las Garzas N° 67 San Pedro de La Paz - Concepción
 Fono: (41) 2283779 82196856

6.0 DIBUJO PERFIL ESTRATIGRAFICO SONDAJE N° 6940





MECANICA DE SUELOS
 Laboratorio de Mecánica de Suelo - Geo Soil Drill Ltda.
 Las Garzas N° 67 San Pedro de La Paz - Concepción
 Fono: (41) 2283779 82196856

7.0 RESULTADOS EXPLORACION DEL SUBSUELO SONDAJE KM 7200

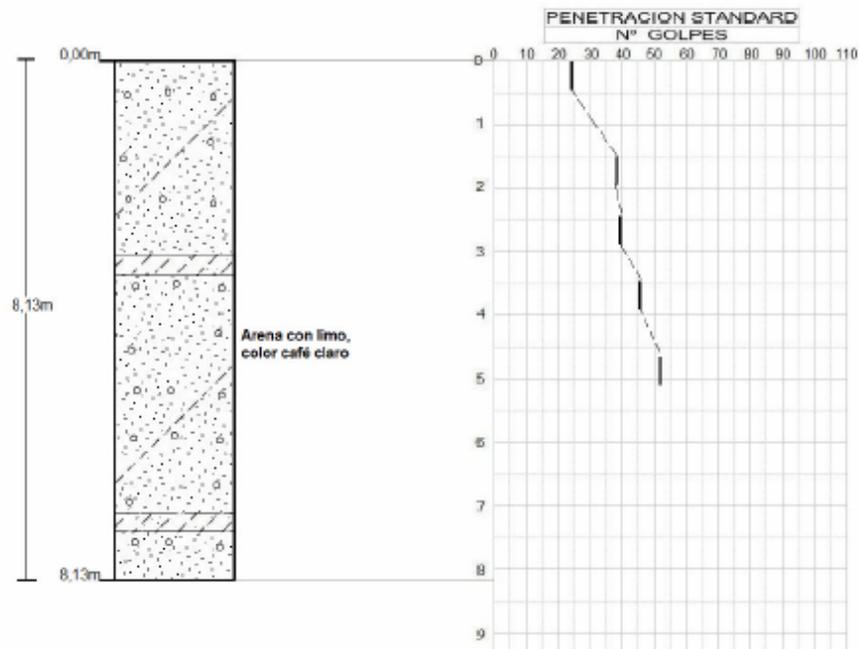
FECHA DE EJECUCION : 12/02/12 INICIO : 12/02/12 TERMINO : 13/02/12
 COORDENADAS : NORTE : 7760915,859 ESTE : 382694,758 COTA : 194,78
 CONTROL NAPA FREATICA : N/O.

PROFUNDIDAD DE A	DESCRIPCION VISUAL DEL SUBSUELO	MUESTRA		ENSAYO DE PENETRACION ESTANDAR				L (cm)	REC (%)	RQD (%)	PENETRACION DE A	
		N°	TIPO	N1	N2	N3	N				DE	A
0.00 8.13	Arena con bajo contenido de limo, color café claro, tamaño fino, humedad baja, compacidad alta. Presenta lentes de limo en forma aislada. Gravillas tamaño máximo ¾" aproximadamente en media proporción.	1	CN	7	9	15	24	---	---	---	0.00	0.45
		2	CN	9	17	21	38	---	---	---	1.49	1.94
		3	CN	15	19	20	39	---	---	---	2.38	2.83
		4	CN	16	22	24	46	---	---	---	3.47	3.92
		5	CN	19	24	28	52	---	---	---	4.60	5.05
		6	CN	20	24	31	55	---	---	---	5.58	6.03
		7	CN	22	27	35	62	---	---	---	6.62	7.07
		8	CN	25	31	39	70	---	---	---	7.68	8.13



MECANICA DE SUELOS
 Laboratorio de Mecánica de Suelo - Geo Soil Drill Ltda.
 Las Garzas N° 67 San Pedro de La Paz - Concepción
 Fono: (41) 2283779 82196856

8.0 DIBUJO PERFIL ESTRATIGRAFICO SONDAJE N° 7200





MECANICA DE SUELOS
Laboratorio de Mecánica de Suelo - Geo Soil Drill Ltda.
Las Garzas N° 67 San Pedro de La Paz - Concepción
Fono: (41) 2283779 82196856

9.0 RESULTADOS EXPLORACION DEL SUBSUELO SONDAJE KM 7560

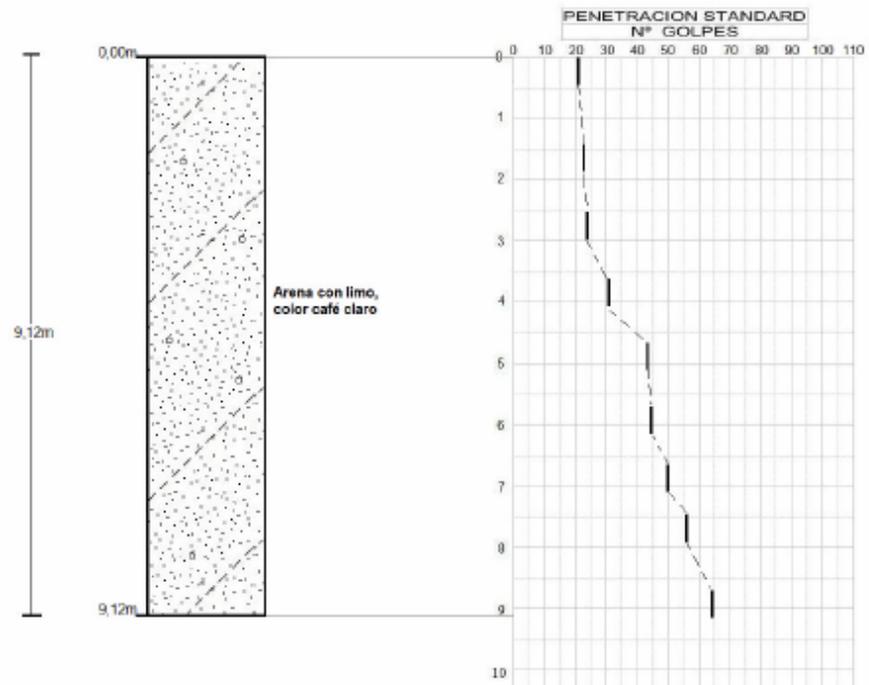
FECHA DE EJECUCION : 13/02/12 INICIO : 13/02/12 TERMINO : 14/02/12
COORDENADAS : NORTE : 7761225,316 ESTE : 382509,753 COTA : 169,82
CONTROL NAPA FREATICA : N/O.

PROFUNDIDAD DE A	DESCRIPCION VISUAL DEL SUBSUELO	MUESTRA		ENSAYO DE PENETRACION ESTANDAR				L (mm)	REC (%)	RQD (%)	PENETRACION DE A	
		N°	TIPO	N1	N2	N3	N				DE	A
0.00 9.12	Arena con bajo contenido de limo, color café claro, compacidad media a alta, tamaño fino, humedad baja. Presenta gravillas en forma aislada.	1	CN	6	9	12	21	---	---	---	0.00	0.45
		2	CN	7	10	12	22	---	---	---	1.42	1.87
		3	CN	10	10	13	23	---	---	---	2.51	2.96
		4	CN	12	14	17	31	---	---	---	3.59	4.04
		5	CN	15	19	24	43	---	---	---	4.62	5.07
		6	CN	16	18	26	44	---	---	---	5.68	6.13
		7	CN	16	21	29	50	---	---	---	6.59	7.04
		8	CN	19	25	31	56	---	---	---	7.48	7.93
		9	CN	23	29	35	64	---	---	---	8.67	9.12



MECANICA DE SUELOS
Laboratorio de Mecánica de Suelo - Geo Soil Drill Ltda.
Las Garzas N° 67 San Pedro de La Paz - Concepción
Fono: (41) 2283779 82196856

10.0 DIBUJO PERFIL ESTRATIGRAFICO SONDAJE N° 7560





MECANICA DE SUELOS
Laboratorio de Mecánica de Suelo - Geo Soil Drill Ltda.
Las Garzas N° 67 San Pedro de La Paz - Concepción
Fono: (41) 2283779 82196856

3.0 RESULTADOS EXPLORACION DEL SUBSUELO SONDAJE KM 6640

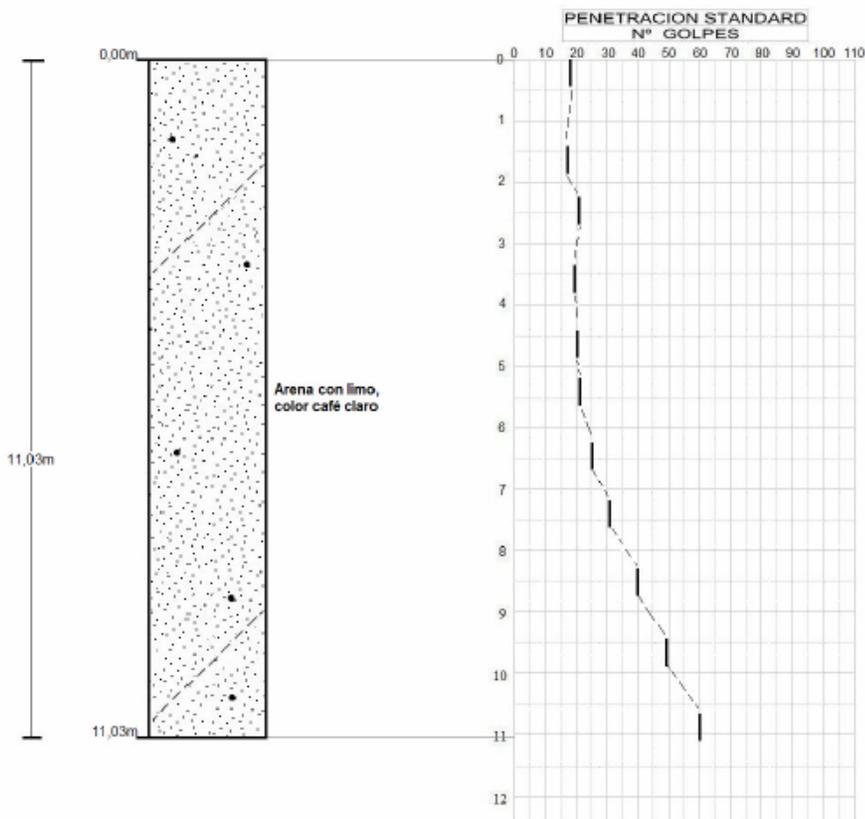
FECHA DE EJECUCION : 07/02/12 INICIO : 07/02/12 TERMINO : 07/02/12
COORDENADAS : NORTE : 7760501,297 ESTE : 383070,893 COTA : 229,29
CONTROL NAPA FREATICA : N/O.

PROFUNDIDAD DE A	DESCRIPCION VISUAL DEL SUBSUELO	MUESTRA		ENSAYO DE PENETRACION ESTANDAR				L (mm)	REC (%)	RQD (%)	PENETRACION DE A	
		N°	TIPO	N1	N2	N3	N					
0.00 11.03	Arena con bajo contenido de limo, color café claro, tamaño fino, humedad baja, compacidad media a alta. Presenta partículas de color gris en baja proporción.	1	CN	7	9	9	18	---	---	---	0.00	0.45
		2	CN	6	8	9	17	---	---	---	1.39	1.84
		3	CN	7	10	11	21	---	---	---	2.26	2.71
		4	CN	6	7	12	19	---	---	---	3.32	3.77
		5	CN	7	8	12	20	---	---	---	4.41	4.86
		6	CN	8	9	13	22	---	---	---	5.19	5.64
		7	CN	6	10	15	25	---	---	---	6.22	6.67
		8	CN	6	12	19	31	---	---	---	7.15	7.60
		9	CN	10	17	23	40	---	---	---	8.29	8.74
		10	CN	13	21	28	49	---	---	---	9.47	9.92
		11	CN	15	26	39	60	---	---	---	10.58	11.03



MECANICA DE SUELOS
Laboratorio de Mecánica de Suelo - Geo Soil Drill Ltda.
Las Garzas N° 67 San Pedro de La Paz - Concepción
Fono: (41) 2283779 82196856

4.0 DIBUJO PERFIL ESTRATIGRAFICO SONDAJE N° 6640





MECANICA DE SUELOS
 Laboratorio de Mecánica de Suelo - Geo Soil Drill Ltda.
 Las Garzas N° 67 San Pedro de La Paz - Concepción
 Fono: (41) 2283779 82196856

RESULTADOS EXPLORACION DEL SUBSUELO SONDAJE N° 7780

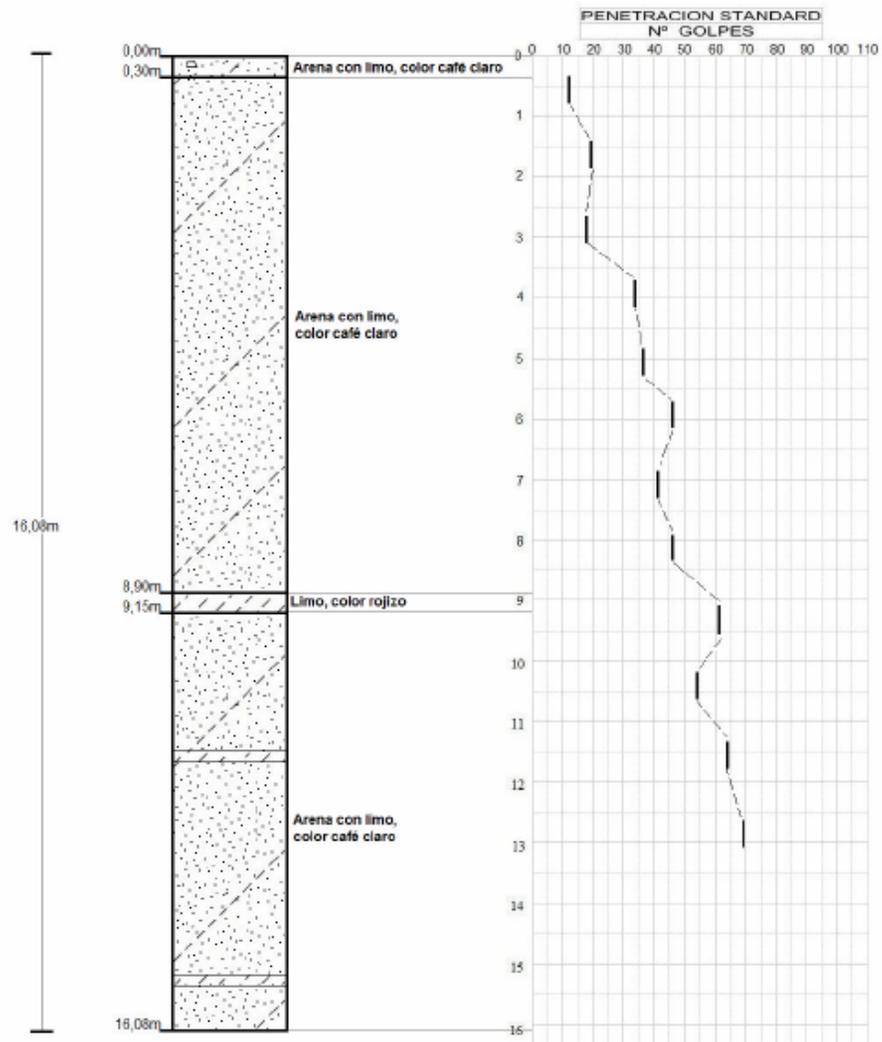
FECHA DE EJECUCION : 25/11/11 INICIO : 25/11/11 TERMINO : 26/11/11
 COORDENADAS : NORTE : 7761103,379 ESTE : 382582,865 COTA : 194,48
 CONTROL NAPA FREATICA : N/O.
 KILOMETRAJE PUNTUAL : 7420

PROFUNDIDAD DE A	DESCRIPCION VISUAL DEL SUBSUELO	MUESTRA		ENSAYO DE PENETRACION ESTANDAR				L (cm)	REC (%)	RQD (%)	PENETRACION DE A	
		N°	TIPO	N1	N2	N3	N				DE	A
0.00 0.30	Arena con un bajo contenido de limo, color café claro con matices de color amarillo, tamaño fino, compacidad media a alta, humedad baja. Presenta trozos de roca en media proporción de diferentes tamaños. Basuras en media proporción.	1	CN	4	5	7	12	---	---	---	0.27	0.72
0.30 8.90	Arena con un bajo contenido de limo, color café claro con matices de color amarillo, tamaño fino, compacidad alta, humedad media estructura homogénea.	2	CN	7	9	10	19	---	---	---	1.43	1.88
		3	CN	14	10	8	18	---	---	---	2.68	3.13
		4	CN	10	14	19	33	---	---	---	3.71	4.16
		5	CN	13	16	21	37	---	---	---	4.94	5.39
		6	CN	12	18	28	46	---	---	---	5.72	6.17
		7	CN	10	16	25	41	---	---	---	6.85	7.30
		8	CN	13	19	27	46	---	---	---	7.93	8.38
		8.90 9.15	Limo, color rojizo, consistencia muy dura, estado semi-cementado, humedad media. Presenta bastantes fracturas.	9	CN	15	29	32	61	---	---	---
9.15 16.08	Arena con un bajo contenido de limo, color café claro con matices de color amarillo, tamaño fino, compacidad muy alta, humedad media. Presenta lentes de limo en baja proporción, color rojizo, estado semi-cementado.	10	CN	13	24	30	54	---	---	---	10.13	10.58
		11	CN	17	29	36	65	---	---	---	11.34	11.79
		12	CN	19	31	48	79	---	---	---	12.58	13.03
		13	CN	15	35	50/12/R	---	---	---	---	14.05	14.50
		14	CN	21	37	50/10/R	---	---	---	---	15.63	16.08



MECANICA DE SUELOS
 Laboratorio de Mecánica de Suelo - Geo Soil Drill Ltda.
 Las Garzas N° 67 San Pedro de La Paz - Concepción
 Fono: (41) 2283779 82196856

DIBUJO PERFIL ESTRATIGRAFICO SONDAJE N° 7780



ANEXO D: FICHA TÉCNICA DE GEOMALLAS UNIAXIALES

Ficha técnica UX 1400MSE

Tipo Geomalla Uniaxial UX 1400MSE	Unidad	Valor
Propiedades		
Resistencia a la tensión 5% deformación	KN/m	31
Tensión última	KN/m	70
Capacidad a la tracción de juntas	KN/m	66
Durabilidad		
Resistencia a la degradación a largo plazo (químico y biológico)	%	100
Resistencia a la degradación por UV	%	95
Recomendaciones aceptables por deformaciones parcial. Factores por daño.		
Factor mínimo de seguridad por daño de instalación (FS _{ID}).		1.1 a 1.2
Factor mínimo de seguridad por daño de deformación (FS _{cr}).		3.10
Factor mínimo de seguridad por durabilidad (FS _D).		1.1
Otros factores de reducción		
Factor por incertidumbre (F _{sincertidumbre})		1.5

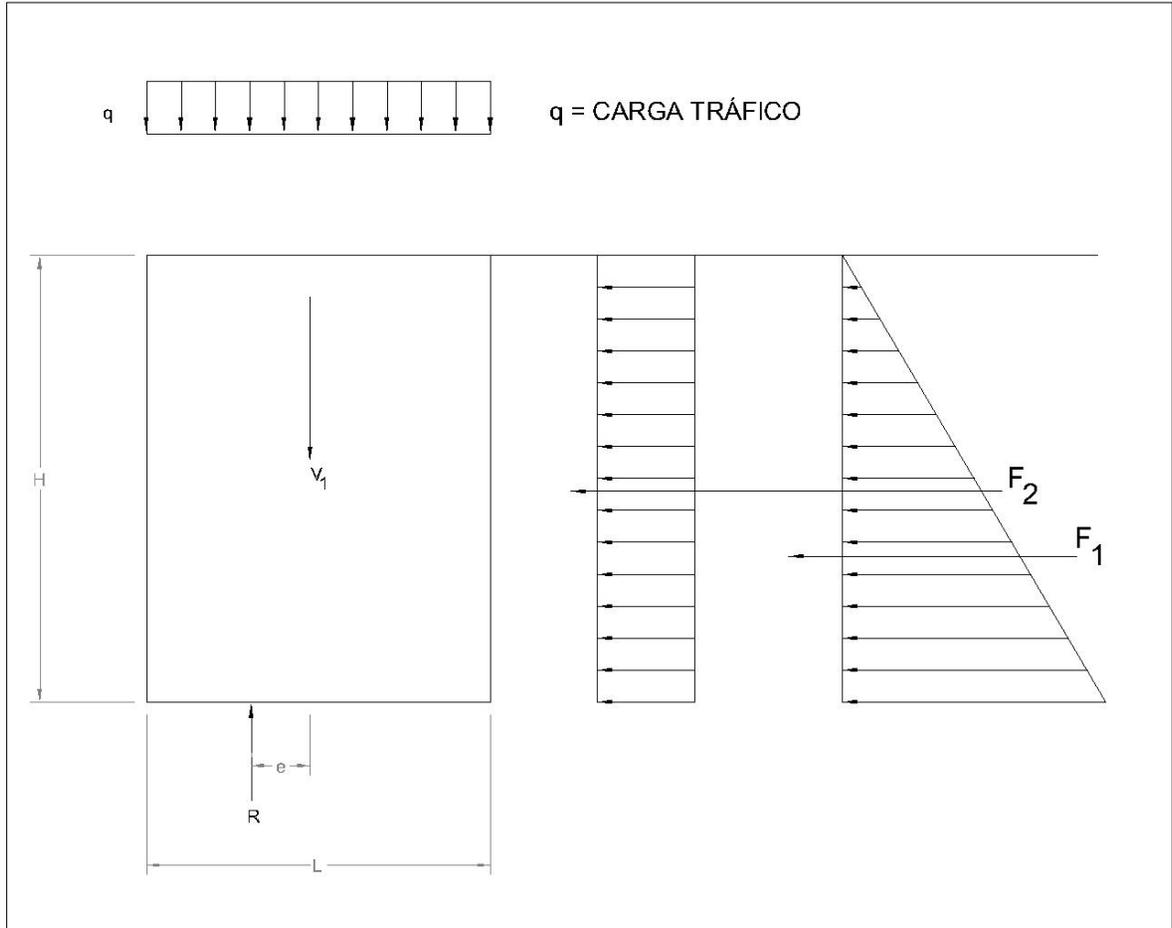
Ficha técnica UX 1500MSE

Tipo Geomalla Uniaxial UX 1500MSE	Unidad	Valor
Propiedades		
Resistencia a la tensión 5% deformación	KN/m	52
Tensión última	KN/m	114
Capacidad a la tracción de juntas	KN/m	105
Durabilidad		
Resistencia a la degradación a largo plazo (químico y biológico)	%	100
Resistencia a la degradación por UV	%	95
Recomendaciones aceptables por deformaciones parcial. Factores por daño.		
Factor mínimo de seguridad por daño de instalación (FS_{ID}).		1.1 a 1.2
Factor mínimo de seguridad por daño de deformación (FS_{cr}).		3.10
Factor mínimo de seguridad por durabilidad (FS_D).		1.1
Otros factores de reducción		
Factor por incertidumbre ($F_{S_{incertidumbre}}$)		1.5

Ficha técnica UX 1600MSE

Tipo Geomalla Uniaxial UX 1600MSE	Unidad	Valor
Propiedades		
Resistencia a la tensión 5% deformación	KN/m	58
Tensión última	KN/m	144
Capacidad a la tracción de juntas	KN/m	135
Durabilidad		
Resistencia a la degradación a largo plazo (químico y biológico)	%	100
Resistencia a la degradación por UV	%	95
Recomendaciones aceptables por deformaciones parcial. Factores por daño.		
Factor mínimo de seguridad por daño de instalación (FS_{ID}).		1.1 a 1.2
Factor mínimo de seguridad por daño de deformación (FS_{cr}).		3.10
Factor mínimo de seguridad por durabilidad (FS_D).		1.1
Otros factores de reducción		
Factor por incertidumbre ($F_{S_{incertidumbre}}$)		1.5

ANEXO E: DISEÑO ESTRUCTURAL DE DETALLE, PARA MUROS MECÁNICAMENTE ESTABILIZADO



Geometria Muro

$H := 9\text{m}$ Altura máxima. Muro Mecánicamente Estabilizado Reforzado

$L := 7\text{m}$ Ancho máxima. Muro Mecánicamente Estabilizado Reforzado

Propiedades del suelo

Suelo Reforzado

$\gamma_r := 18 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3}$ Peso suelo Muro TEM

$\phi_r := 32\text{deg}$ Ángulo de fricción interna Muro

$c_r := 5 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$ Cohesión

$K_{ar} := \tan\left(45\text{deg} - \frac{\phi_r}{2}\right)^{(2)} = 0.307$ Ec 15 - Sección 4.3B FHWA -DP8

Suelo Relleno

$\gamma_b := 18 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3}$ Peso suelo Suelo Relleno

$\phi_b := 32\text{deg}$ Ángulo de fricción interna

Suelo de fundación

$\gamma_f := 17 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3}$ Peso específico del suelo

$\phi_f := 32\text{deg}$ Ángulo de fricción interna

$K_{abf} := \tan\left(45\text{deg} - \frac{\phi_f}{2}\right)^{(2)} = 0.307$ Ec 15 - Sección 4.2d FHWA -DP82

$h := 0.610\text{m}$ Tráfico

$\gamma_{tr} := 19.6 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3}$ Tráfico

$q := \gamma_{tr} \cdot h = 11.956 \cdot \text{kPa}$

Estabilidad Externa

$B := L = 7\text{m}$ Supuesto $L > 0.7 H$ o 2.44m

Cargas

$$V1 := \gamma_r \cdot H \cdot L = 1.134 \times 10^3 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$V2 := q \cdot L = 83.692 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$\underline{R} := V1 + V2 = 1.218 \times 10^3 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$F1 := 0.5 \cdot \gamma_b \cdot H^2 \cdot K_{abf} = 223.991 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$F2 := q \cdot H \cdot K_{abf} = 33.062 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

Momentos

$$M_o := F1 \cdot \left(\frac{H}{3}\right) + F2 \cdot \left(\frac{H}{2}\right) = 820.755 \cdot \text{kN} \cdot \frac{\text{m}}{\text{m}} \text{ Momento Volcante}$$

$$M_{ro} := V1 \cdot \left(\frac{L}{2}\right) = 3.969 \times 10^3 \cdot \text{kN} \cdot \frac{\text{m}}{\text{m}} \text{ Momento Resistente}$$

$$M_{rbp} := V1 \cdot \left(\frac{L}{2}\right) + V2 \cdot \frac{L}{2} = 4.262 \times 10^3 \cdot \text{kN} \cdot \frac{\text{m}}{\text{m}} \text{ Momento resistente aplicando presión}$$

FS \geq 1.5 desplazamientos Ec 21 sección 4.2e de FHWA - BP82

$$FS_{d1} := V1 \cdot \frac{\tan(\phi_r)}{(F1 + F2)} = 2.757 \quad \text{OK} \quad \text{Factor de seguridad Refuerzo}$$

$$FS_{d2} := V1 \cdot \frac{\tan(\phi_f)}{(F1 + F2)} = 2.757 \quad \text{OK} \quad \text{Factor de seguridad Fundación}$$

FS \geq 2.0 volcamiento

$$FS_v := \frac{M_{ro}}{M_o} = 4.836 \quad \text{OK} \quad \text{Factor de seguridad Volcamiento}$$

Máxima presión Aplicada

$$\frac{L}{6} = 1.167 \text{ m}$$

$$e1 := \left(\frac{L}{2}\right) - \frac{(M_{rbp} - M_o)}{V1 + V2} = 0.674 \text{ m} \quad e \leq 1.167 \text{ m} \quad \text{OK}$$

$$L1 := L - 2 \cdot e1 = 5.652 \text{ m}$$

$$\sigma_v := \frac{(V1 + q \cdot L)}{L - 2 \cdot e1} = 215.446 \cdot \text{kPa} \quad \text{Esfuerzo Máximo} \quad \text{AASHTO 97 - Fig. 5.8.3A}$$

Factores de la capacidad de carga

$$N_q := \tan\left(45\text{deg} + \frac{\phi f}{2}\right)^2 \cdot e^{(\pi \cdot \tan(\phi f))} = 23.177$$

$$N_c := (N_q - 1) \cdot \cot(\phi f) = 35.49$$

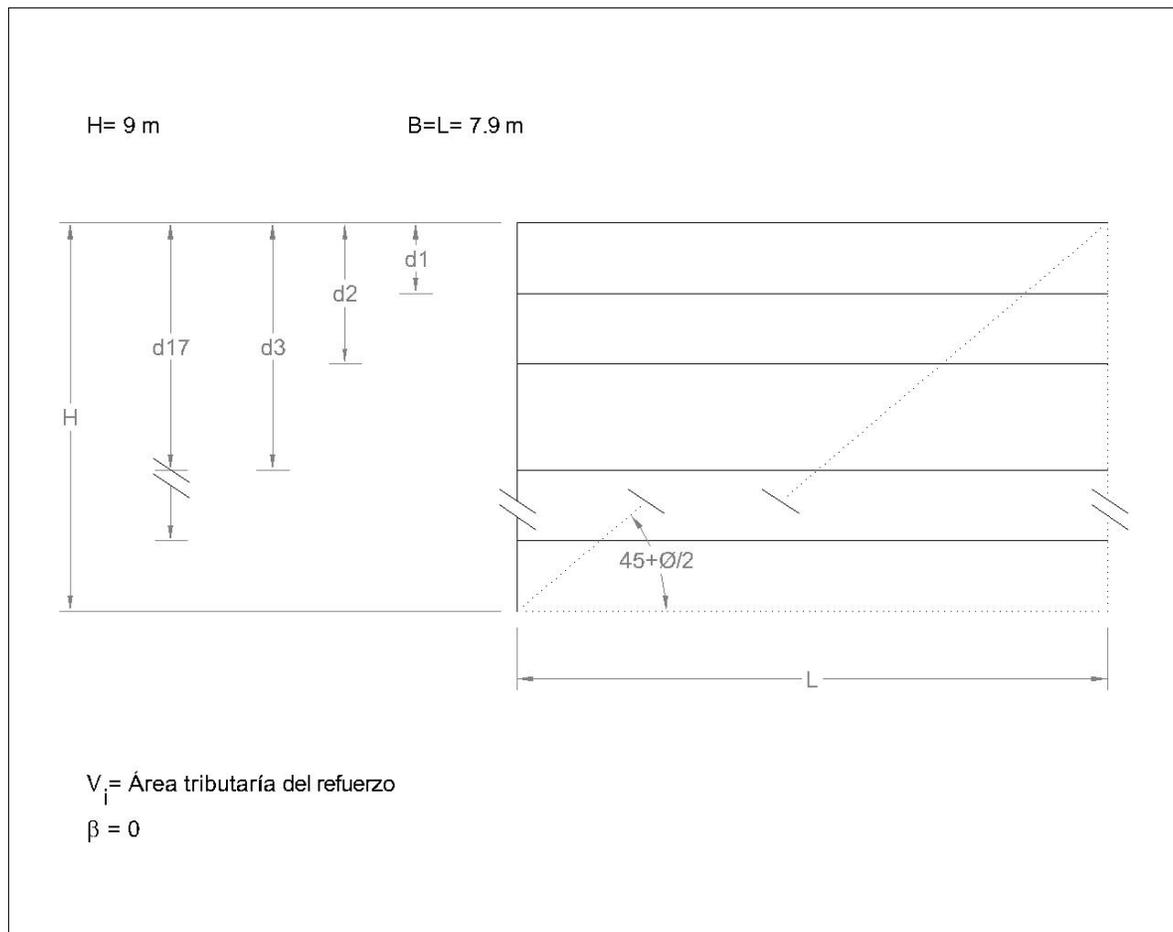
$$N_\gamma := 2 \cdot (N_q + 1) \cdot \tan(\phi f) = 30.215$$

Ec 28 sección 4.2f de FHWA - DP82

$$q_{ult} := c \cdot N_c + 0.5 \cdot (L - 2 \cdot e_1) \gamma_f \cdot N_\gamma = 1.629 \times 10^3 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

FSc \geq 2.5 Factor de seguridad por capacidad

$$FSc := \frac{q_{ult}}{\sigma_v} = 7.561 \quad \text{OK}$$



Estabilidad Interna

Refuerzo Uniaxial

$$H = 9 \text{ m}$$

$$\begin{aligned} d17 &:= H - 0.2\text{m} = 8.8 \text{ m} && \text{Primer espesor, sobre fundación} \\ d16 &:= H - (0.61\text{m}) = 8.39 \text{ m} \\ d15 &:= H - (1.02\text{m}) = 7.98 \text{ m} \\ d14 &:= H - (1.42\text{m}) = 7.58 \text{ m} \\ d13 &:= H - (1.83\text{m}) = 7.17 \text{ m} \\ d12 &:= H - (2.24\text{m}) = 6.76 \text{ m} \\ d11 &:= H - (2.64\text{m}) = 6.36 \text{ m} \\ d10 &:= H - (3.05\text{m}) = 5.95 \text{ m} \\ d09 &:= H - (3.66\text{m}) = 5.34 \text{ m} \\ d08 &:= H - (4.27\text{m}) = 4.73 \text{ m} \\ d07 &:= H - (4.88\text{m}) = 4.12 \text{ m} \\ d06 &:= H - (5.49\text{m}) = 3.51 \text{ m} \\ d05 &:= H - (6.10\text{m}) = 2.9 \text{ m} \\ d04 &:= H - (6.71\text{m}) = 2.29 \text{ m} \\ d03 &:= H - (7.32\text{m}) = 1.68 \text{ m} \\ d02 &:= H - (7.93\text{m}) = 1.07 \text{ m} \\ d01 &:= H - (8.53\text{m}) = 0.47 \text{ m} && \text{Coronamiento Muro} \end{aligned}$$

Primera Grilla de Refuerzo

$$F1G := 0.5 \cdot \gamma_b \cdot d17^2 \cdot Kabf = 214.147 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$F2G := q \cdot d17 \cdot Kabf = 32.328 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$Ci := 0.8 \quad \text{Coeficiente refuerzo interno}$$

$$FSdG \geq 1.5 \quad \text{Factor Seguridad deslizamiento primera Grilla}$$

$$FSdG := \frac{(\gamma_r \cdot d17 \cdot L \cdot \tan(\phi_r) \cdot Ci)}{(F1G + F2G)} = 2.249 \quad \text{OK}$$

Cálculo del área tributaria de la geogrilla: (Vi)

$$V1G := d01 + 0.5(d02 - d01) = 0.77 \text{ m}$$

$$V2G := 0.5 \cdot (d02 - d01) + 0.5(d03 - d02) = 0.605 \text{ m}$$

$$V3G := 0.5(d03 - d02) + 0.5(d04 - d03) = 0.61 \text{ m}$$

$$V4G := 0.5(d04 - d03) + 0.5(d05 - d04) = 0.61 \text{ m}$$

$$V5G := 0.5 \cdot (d05 - d04) + 0.5(d06 - d05) = 0.61 \text{ m}$$

$$V6G := 0.5(d06 - d05) + 0.5(d07 - d06) = 0.61 \text{ m}$$

$$V7G := 0.5(d07 - d06) + 0.5(d08 - d07) = 0.61 \text{ m}$$

$$V8G := 0.5 \cdot (d08 - d07) + 0.5(d09 - d08) = 0.61 \text{ m}$$

$$V9G := 0.5(d09 - d08) + 0.5(d10 - d09) = 0.61 \text{ m}$$

$$V10G := 0.5(d10 - d09) + 0.5(d11 - d10) = 0.51 \text{ m}$$

$$V11G := 0.5 \cdot (d11 - d10) + 0.5(d12 - d11) = 0.405 \text{ m}$$

$$V12G := 0.5(d12 - d11) + 0.5(d13 - d12) = 0.405 \text{ m}$$

$$V13G := 0.5(d13 - d12) + 0.5(d14 - d13) = 0.41 \text{ m}$$

$$V14G := 0.5(d14 - d13) + 0.5(d15 - d14) = 0.405 \text{ m}$$

$$V15G := 0.5 \cdot (d15 - d14) + 0.5(d16 - d15) = 0.405 \text{ m}$$

$$V16G := 0.5(d16 - d15) + 0.5(d17 - d16) = 0.41 \text{ m}$$

$$V17G := 0.5(d17 - d16) + (H - d17) = 0.405 \text{ m}$$

Cálculo de tensión para cada reforzamiento (T_{max}): $T_{adm} = (T_{\text{últ refuerzo}} \cdot Rc) / (FS_{\text{incertidumbre}} \cdot FS_{ID} \cdot FS_D \cdot \text{Creep Reduc.})$

$$T_{max} = \sigma_H \cdot S_v = \sigma_H \cdot V_i \text{ Ec. 39 Sección 4.3B - FHWA - DP82}$$

$$\sigma_H = K_{AR} \cdot (\gamma_R \cdot D_i + q) \text{ Ec. 38 Sección 4.3B - FHWA - DP82}$$

Verificación

$T_{max1} := Kar \cdot (\gamma_R \cdot d01 + q) \cdot V1G = 4.83 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}}$	$UX1400MSE1 := \frac{(70 \cdot 1)}{1.5 \cdot 1.1 \cdot 1.0 \cdot 3.1} = 13.685 \text{ OK}$
$T_{max2} := Kar \cdot (\gamma_R \cdot d02 + q) \cdot V2G = 5.803 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}}$	$UX1400MSE2 := \frac{(70 \cdot 1)}{1.5 \cdot 1.1 \cdot 1.0 \cdot 3.1} = 13.685 \text{ OK}$
$T_{max3} := Kar \cdot (\gamma_R \cdot d03 + q) \cdot V3G = 7.909 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}}$	$UX1400MSE3 := \frac{(70 \cdot 1)}{1.5 \cdot 1.1 \cdot 1.0 \cdot 3.1} = 13.685 \text{ OK}$
$T_{max4} := Kar \cdot (\gamma_R \cdot d04 + q) \cdot V4G = 9.967 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}}$	$UX1400MSE4 := \frac{(70 \cdot 1)}{1.5 \cdot 1.1 \cdot 1.0 \cdot 3.1} = 13.685 \text{ OK}$
$T_{max5} := Kar \cdot (\gamma_R \cdot d05 + q) \cdot V5G = 12.025 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}}$	$UX1500MSE5 := \frac{(114 \cdot 1)}{1.5 \cdot 1.1 \cdot 1.0 \cdot 3.1} = 22.287 \text{ OK}$

$$\begin{aligned}
T_{\max 6} &:= \text{Kar} \cdot (\gamma_r \cdot d_{06} + q) \cdot V_{6G} = 14.083 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}} & \text{UX1500MSE6} &:= \frac{(114 \cdot 1)}{1.5 \cdot 1.1 \cdot 1.0 \cdot 3.1} = 22.287 \text{ OK} \\
T_{\max 7} &:= \text{Kar} \cdot (\gamma_r \cdot d_{07} + q) \cdot V_{7G} = 16.141 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}} & \text{UX1500MSE7} &:= \frac{(114 \cdot 1)}{1.5 \cdot 1.1 \cdot 1.0 \cdot 3.1} = 22.287 \text{ OK} \\
T_{\max 8} &:= \text{Kar} \cdot (\gamma_r \cdot d_{08} + q) \cdot V_{8G} = 18.198 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}} & \text{UX1600MSE8} &:= \frac{(144 \cdot 1)}{1.5 \cdot 1.1 \cdot 1.0 \cdot 3.1} = 28.152 \text{ OK} \\
T_{\max 9} &:= \text{Kar} \cdot (\gamma_r \cdot d_{09} + q) \cdot V_{9G} = 20.256 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}} & \text{UX1500MSE9} &:= \frac{(144 \cdot 1)}{1.5 \cdot 1.1 \cdot 1.0 \cdot 3.1} = 28.152 \text{ OK} \\
T_{\max 10} &:= \text{Kar} \cdot (\gamma_r \cdot d_{10} + q) \cdot V_{10G} = 18.656 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}} & \text{UX1500MSE10} &:= \frac{(144 \cdot 1)}{1.5 \cdot 1.1 \cdot 1.0 \cdot 3.1} = 28.152 \text{ OK} \\
T_{\max 11} &:= \text{Kar} \cdot (\gamma_r \cdot d_{11} + q) \cdot V_{11G} = 15.734 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}} & \text{UX1500MSE11} &:= \frac{(144 \cdot 1)}{1.5 \cdot 1.1 \cdot 1.0 \cdot 3.1} = 28.152 \text{ OK} \\
T_{\max 12} &:= \text{Kar} \cdot (\gamma_r \cdot d_{12} + q) \cdot V_{12G} = 16.63 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}} & \text{UX1500MSE12} &:= \frac{(144 \cdot 1)}{1.5 \cdot 1.1 \cdot 1.0 \cdot 3.1} = 28.152 \text{ OK} \\
T_{\max 13} &:= \text{Kar} \cdot (\gamma_r \cdot d_{13} + q) \cdot V_{13G} = 17.765 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}} & \text{UX1500MSE13} &:= \frac{(144 \cdot 1)}{1.5 \cdot 1.1 \cdot 1.0 \cdot 3.1} = 28.152 \text{ OK} \\
T_{\max 14} &:= \text{Kar} \cdot (\gamma_r \cdot d_{14} + q) \cdot V_{14G} = 18.466 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}} & \text{UX1500MSE14} &:= \frac{(144 \cdot 1)}{1.5 \cdot 1.1 \cdot 1.0 \cdot 3.1} = 28.152 \text{ OK} \\
T_{\max 15} &:= \text{Kar} \cdot (\gamma_r \cdot d_{15} + q) \cdot V_{15G} = 19.362 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}} & \text{UX1500MSE15} &:= \frac{(144 \cdot 1)}{1.5 \cdot 1.1 \cdot 1.0 \cdot 3.1} = 28.152 \text{ OK} \\
T_{\max 16} &:= \text{Kar} \cdot (\gamma_r \cdot d_{16} + q) \cdot V_{16G} = 20.531 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}} & \text{UX1500MSE16} &:= \frac{(144 \cdot 1)}{1.5 \cdot 1.1 \cdot 1.0 \cdot 3.1} = 28.152 \text{ OK} \\
T_{\max 17} &:= \text{Kar} \cdot (\gamma_r \cdot d_{17} + q) \cdot V_{17G} = 21.199 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}} & \text{UX1500MSE17} &:= \frac{(144 \cdot 1)}{1.5 \cdot 1.1 \cdot 1.0 \cdot 3.1} = 28.152 \text{ OK}
\end{aligned}$$

Cálculo de Tensión de cada Capa

Le = Largo del refuerzo en la zona de resistencia

$\alpha_G := 1$ Factor de corrección. Determinado por laboratorio Tensar

FSpo := 1.5 Factor seguridad Pullout

CG := 2 Constante para Grillas

Rc := 1 Cobertura del refuerzo

Le \geq 1m Condición

$$\text{Le1} := \frac{(\text{FSpo} \cdot T_{\max 1})}{\text{CG} \cdot \tan(\phi_r) \cdot C_i \cdot \gamma_r \cdot d_{01} \cdot \text{Rc} \cdot \alpha_G} = 0.857 \text{ m}$$

Por lo tanto, por condición Le1c := 1m

$$\text{Le2} := \frac{(\text{FSpo} \cdot T_{\max 2})}{\text{CG} \cdot \tan(\phi_r) \cdot C_i \cdot \gamma_r \cdot d_{02} \cdot \text{Rc} \cdot \alpha_G} = 0.452 \text{ m}$$

Por lo tanto, por condición Le2c := 1m

$$Le3 := \frac{(FSpo Tmax3)}{CG \cdot \tan(\phi r) \cdot Ci \cdot \gamma r \cdot d03 \cdot Rc \cdot \alpha G} = 0.392 \text{ m}$$

Por lo tanto, por condición $Le3c := 1 \text{ m}$

$$Le4 := \frac{(FSpo Tmax4)}{CG \cdot \tan(\phi r) \cdot Ci \cdot \gamma r \cdot d04 \cdot Rc \cdot \alpha G} = 0.363 \text{ m}$$

Por lo tanto, por condición $Le4c := 1 \text{ m}$

$$Le5 := \frac{(FSpo Tmax5)}{CG \cdot \tan(\phi r) \cdot Ci \cdot \gamma r \cdot d05 \cdot Rc \cdot \alpha G} = 0.346 \text{ m}$$

Por lo tanto, por condición $Le5c := 1 \text{ m}$

$$Le6 := \frac{(FSpo Tmax6)}{CG \cdot \tan(\phi r) \cdot Ci \cdot \gamma r \cdot d06 \cdot Rc \cdot \alpha G} = 0.334 \text{ m}$$

Por lo tanto, por condición $Le6c := 1 \text{ m}$

$$Le7 := \frac{(FSpo Tmax7)}{CG \cdot \tan(\phi r) \cdot Ci \cdot \gamma r \cdot d07 \cdot Rc \cdot \alpha G} = 0.327 \text{ m}$$

Por lo tanto, por condición $Le7c := 1 \text{ m}$

$$Le8 := \frac{(FSpo Tmax8)}{CG \cdot \tan(\phi r) \cdot Ci \cdot \gamma r \cdot d08 \cdot Rc \cdot \alpha G} = 0.321 \text{ m}$$

Por lo tanto, por condición $Le8c := 1 \text{ m}$

$$Le9 := \frac{(FSpo Tmax9)}{CG \cdot \tan(\phi r) \cdot Ci \cdot \gamma r \cdot d09 \cdot Rc \cdot \alpha G} = 0.316 \text{ m}$$

Por lo tanto, por condición $Le9c := 1 \text{ m}$

$$Le10 := \frac{(FSpo Tmax10)}{CG \cdot \tan(\phi r) \cdot Ci \cdot \gamma r \cdot d10 \cdot Rc \cdot \alpha G} = 0.261 \text{ m}$$

Por lo tanto, por condición $Le10c := 1 \text{ m}$

$$Le11 := \frac{(FSpo Tmax11)}{CG \cdot \tan(\phi r) \cdot Ci \cdot \gamma r \cdot d11 \cdot Rc \cdot \alpha G} = 0.206 \text{ m}$$

Por lo tanto, por condición $Le11c := 1 \text{ m}$

$$Le12 := \frac{(FSpo Tmax12)}{CG \cdot \tan(\phi r) \cdot Ci \cdot \gamma r \cdot d12 \cdot Rc \cdot \alpha G} = 0.205 \text{ m}$$

Por lo tanto, por condición $Le12c := 1 \text{ m}$

$$Le13 := \frac{(FSpo Tmax13)}{CG \cdot \tan(\phi_r) \cdot Ci \cdot \gamma_r \cdot d13 \cdot Rc \cdot \alpha G} = 0.207 \text{ m}$$

Por lo tanto, por condición $Le13c := 1 \text{ m}$

$$Le14 := \frac{(FSpo Tmax14)}{CG \cdot \tan(\phi_r) \cdot Ci \cdot \gamma_r \cdot d14 \cdot Rc \cdot \alpha G} = 0.203 \text{ m}$$

Por lo tanto, por condición $Le14c := 1 \text{ m}$

$$Le15 := \frac{(FSpo Tmax15)}{CG \cdot \tan(\phi_r) \cdot Ci \cdot \gamma_r \cdot d15 \cdot Rc \cdot \alpha G} = 0.202 \text{ m}$$

Por lo tanto, por condición $Le15c := 1 \text{ m}$

$$Le16 := \frac{(FSpo Tmax16)}{CG \cdot \tan(\phi_r) \cdot Ci \cdot \gamma_r \cdot d16 \cdot Rc \cdot \alpha G} = 0.204 \text{ m}$$

Por lo tanto, por condición $Le16c := 1 \text{ m}$

$$Le17 := \frac{(FSpo Tmax17)}{CG \cdot \tan(\phi_r) \cdot Ci \cdot \gamma_r \cdot d17 \cdot Rc \cdot \alpha G} = 0.201 \text{ m}$$

Por lo tanto, por condición $Le17c := 1 \text{ m}$

Cálculo Largo diferencial por capa

$$La1 := (H - d01) \cdot \tan\left(45\text{deg} - \frac{\phi_r}{2}\right) = 4.728 \text{ m}$$

$$La2 := (H - d02) \cdot \tan\left(45\text{deg} - \frac{\phi_r}{2}\right) = 4.396 \text{ m}$$

$$La3 := (H - d03) \cdot \tan\left(45\text{deg} - \frac{\phi_r}{2}\right) = 4.058 \text{ m}$$

$$La4 := (H - d04) \cdot \tan\left(45\text{deg} - \frac{\phi_r}{2}\right) = 3.719 \text{ m}$$

$$La5 := (H - d05) \cdot \tan\left(45\text{deg} - \frac{\phi_r}{2}\right) = 3.381 \text{ m}$$

$$La6 := (H - d06) \cdot \tan\left(45\text{deg} - \frac{\phi_r}{2}\right) = 3.043 \text{ m}$$

$$La7 := (H - d07) \cdot \tan\left(45\text{deg} - \frac{\phi_r}{2}\right) = 2.705 \text{ m}$$

$$La8 := (H - d08) \cdot \tan\left(45\text{deg} - \frac{\phi_r}{2}\right) = 2.367 \text{ m}$$

$$La9 := (H - d09) \cdot \tan\left(45\text{deg} - \frac{\phi r}{2}\right) = 2.029 \text{ m}$$

$$La10 := (H - d10) \cdot \tan\left(45\text{deg} - \frac{\phi r}{2}\right) = 1.691 \text{ m}$$

$$La11 := (H - d11) \cdot \tan\left(45\text{deg} - \frac{\phi r}{2}\right) = 1.463 \text{ m}$$

$$La12 := (H - d12) \cdot \tan\left(45\text{deg} - \frac{\phi r}{2}\right) = 1.242 \text{ m}$$

$$La13 := (H - d13) \cdot \tan\left(45\text{deg} - \frac{\phi r}{2}\right) = 1.014 \text{ m}$$

$$La14 := (H - d14) \cdot \tan\left(45\text{deg} - \frac{\phi r}{2}\right) = 0.787 \text{ m}$$

$$La15 := (H - d15) \cdot \tan\left(45\text{deg} - \frac{\phi r}{2}\right) = 0.565 \text{ m}$$

$$La16 := (H - d16) \cdot \tan\left(45\text{deg} - \frac{\phi r}{2}\right) = 0.338 \text{ m}$$

$$La17 := (H - d17) \cdot \tan\left(45\text{deg} - \frac{\phi r}{2}\right) = 0.111 \text{ m}$$

Cálculo Largo Total del Refuerzo

$Ls := 7.9\text{m}$ Condición: Largo mínimo de 7.9 m del refuerzo. Control de estabilidad externa para una analisis sismico.

$Bs := Ls = 7.9 \text{ m}$

$LT \geq 7.9\text{m}$ Condición por control de estabilidad sismica

$LT1 := La1 + Le1c = 5.728 \text{ m}$ Por lo tanto, por condición $LT1 := 7.9\text{m}$

$LT2 := La2 + Le2c = 5.396 \text{ m}$ Por lo tanto, por condición $LT2 := 7.9\text{m}$

$LT3 := La3 + Le3c = 5.058 \text{ m}$ Por lo tanto, por condición $LT3 := 7.9\text{m}$

$LT4 := La4 + Le4c = 4.719 \text{ m}$ Por lo tanto, por condición $LT4 := 7.9\text{m}$

$LT5 := La5 + Le5c = 4.381 \text{ m}$ Por lo tanto, por condición $LT5 := 7.9\text{m}$

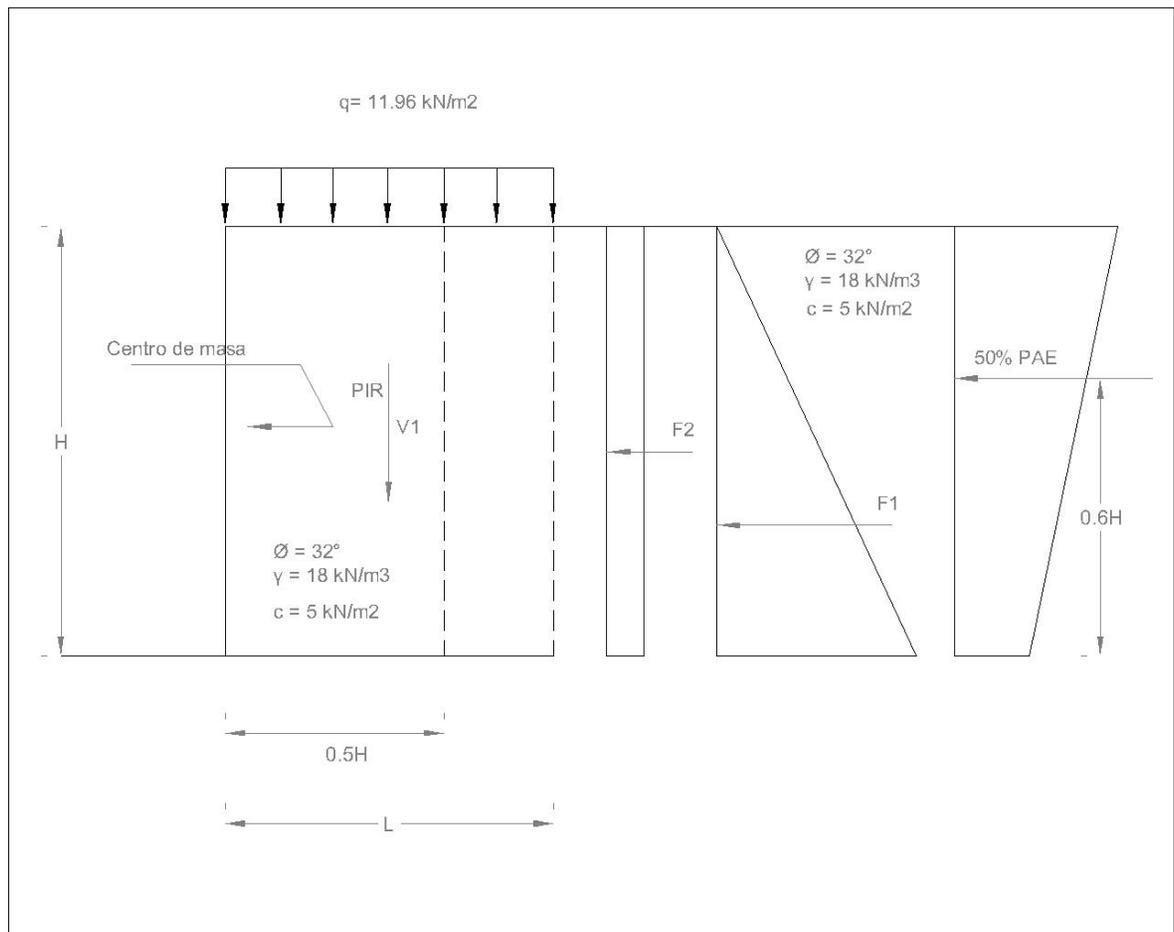
$LT6 := La6 + Le6c = 4.043 \text{ m}$ Por lo tanto, por condición $LT6 := 7.9\text{m}$

$LT7 := La7 + Le7c = 3.705 \text{ m}$ Por lo tanto, por condición $LT7 := 7.9\text{m}$

$LT8 := La8 + Le8c = 3.367 \text{ m}$ Por lo tanto, por condición $LT8 := 7.9\text{m}$

$LT9 := La9 + Le9c = 3.029 \text{ m}$ Por lo tanto, por condición $LT9 := 7.9\text{m}$

$LT10 := La10 + Le10c = 2.691 \text{ m}$ Por lo tanto, por condición $LT10 := 7.9 \text{ m}$
 $LT11 := La11 + Le11c = 2.463 \text{ m}$ Por lo tanto, por condición $LT11 := 7.9 \text{ m}$
 $LT12 := La12 + Le12c = 2.242 \text{ m}$ Por lo tanto, por condición $LT12 := 7.9 \text{ m}$
 $LT13 := La13 + Le13c = 2.014 \text{ m}$ Por lo tanto, por condición $LT13 := 7.9 \text{ m}$
 $LT14 := La14 + Le14c = 1.787 \text{ m}$ Por lo tanto, por condición $LT14 := 7.9 \text{ m}$
 $LT15 := La15 + Le15c = 1.565 \text{ m}$ Por lo tanto, por condición $LT15 := 7.9 \text{ m}$
 $LT16 := La16 + Le16c = 1.338 \text{ m}$ Por lo tanto, por condición $LT16 := 7.9 \text{ m}$
 $LT17 := La17 + Le17c = 1.111 \text{ m}$ Por lo tanto, por condición $LT17 := 7.9 \text{ m}$



ANÁLISIS DINÁMICO

Estabilidad Externa

Datos Obtenidos del análisis estático:

$$H = 9 \text{ m}$$

$$K_{abf} = 0.307 \quad E_c \text{ 15 - Sección 4.2d FHWA -DP82}$$

$$L = 7 \text{ m}$$

$$F1 = 223.991 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$F2 = 33.062 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$V1 = 1.134 \times 10^3 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$V2 = 83.692 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$A_m := 0.32 \quad \text{Aceleración Máxima}$$

Cálculo P_{AE} y P_{IR}

$$P_{AE} := 0.375 \cdot A_m \cdot \gamma_r \cdot H^2 = 174.96 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$P_{AE} := 0.5 \cdot 0.375 \cdot A_m \cdot \gamma_r \cdot H^2 = 87.48 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$P_{IR} := 0.5 \cdot A_m \cdot \gamma_r \cdot H^2 = 233.28 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

Cálculo de estabilidad por desplazamiento

$$FS_{rd} := \frac{(V1 \cdot \tan(\phi_r))}{F1 + F2 + PIR + PAE} = 1.226$$

$$FS_{rd} \geq 1.5 \cdot 0.75 \quad (FS_{rd} \geq 1.1) \text{ OK} \quad \text{Factor de reducción al 75\% del FS Estático.}$$

Cálculo de estabilidad por volcamiento

$$FS_{ot} := \frac{\left(V1 \cdot \frac{L}{2} \right)}{F1 \cdot \left(\frac{H}{3} \right) + F2 \cdot \left(\frac{H}{2} \right) + PIR \cdot \left(\frac{H}{2} \right) + PAE \cdot (0.6 \cdot H)} = 1.694$$

$$FS_{ot} \geq 2.0 \cdot 0.75 \quad (FS_{rd} \geq 1.5) \text{ OK}$$

Cálculo de estabilidad por desplazamiento con refuerzo por capa

$L_s = 7.9 \text{ m}$ Condición: Largo mínimo del refuerzo.

$$V_{lr17} := \gamma_r \cdot d_{l7} \cdot L_s = 1.251 \times 10^3 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$F1G = 214.147 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}} \quad (\text{Modo_Estática})$$

$$F2G = 32.328 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}} \quad (\text{Modo_Estática})$$

$$PA_{Er17} := 0.375 \cdot A_m \cdot \gamma_r \cdot d_{l7}^2 = 167.27 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$PA_{Er17} := 0.5 \cdot 0.375 \cdot A_m \cdot \gamma_r \cdot d_{l7}^2 = 83.635 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}} \quad \text{Aplicado PAE*50\%}$$

$$PIR_{r17} := 0.5 \cdot A_m \cdot \gamma_r \cdot d_{l7}^2 = 223.027 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$FS_{d17} := \frac{(V_{lr17} \cdot \tan(\phi_r) \cdot C_i)}{F1G + F2G + PA_{Er17} + PIR_{r17}} = 1.131 \quad FS_{d17} \geq 1.1 \quad \text{OK}$$

Cálculo de la excentricidad

$$e_{17} := \frac{\left[F1 \cdot \left(\frac{H}{3} \right) + F2 \cdot \left(\frac{H}{2} \right) + PIR \cdot \left(\frac{H}{2} \right) + PAE \cdot (0.6 \cdot H) \right]}{V1 + V2} = 1.924 \text{ m}$$

$$\frac{L_s}{3} = 2.633 \text{ m}$$

$$e_{17} < \frac{L_s}{3} \quad \text{OK}$$

Cálculos de Esfuerzos vertical

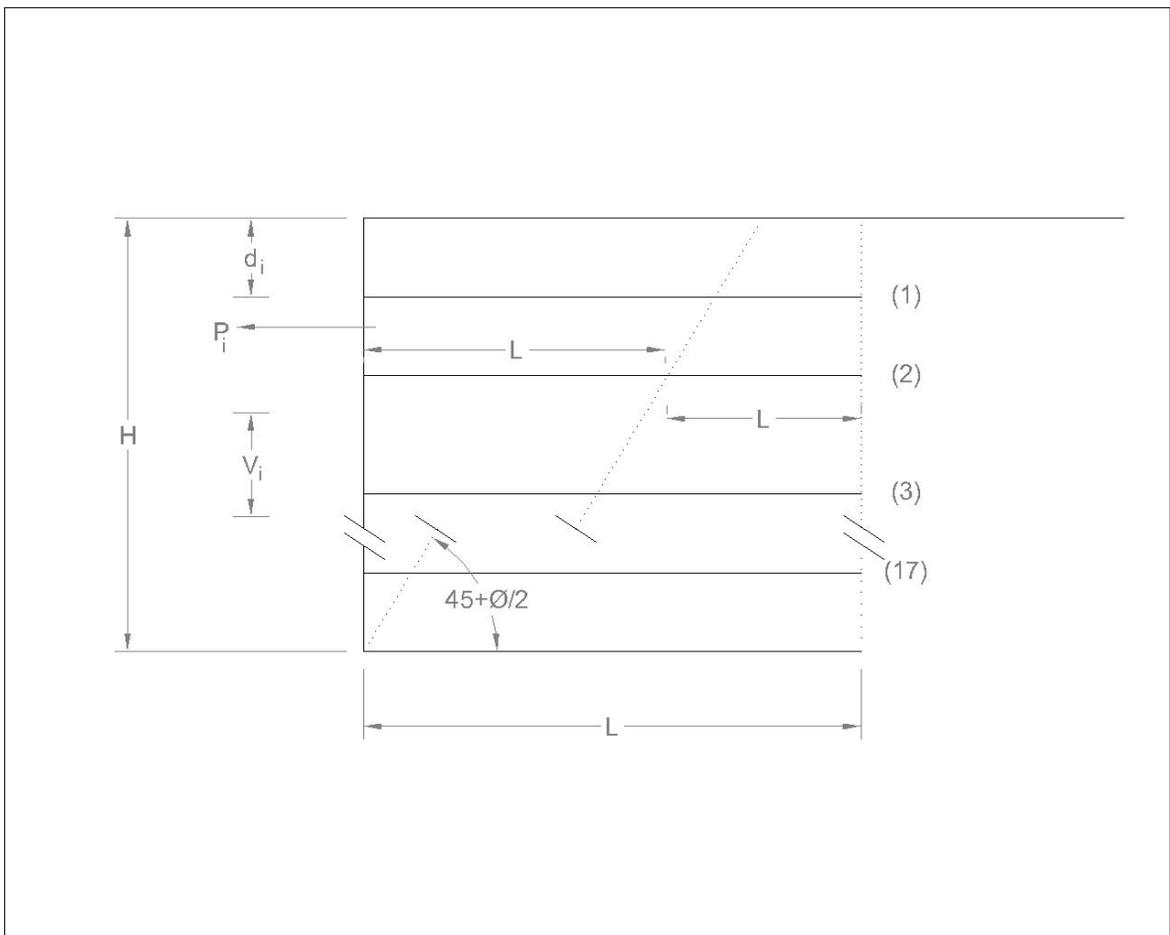
$$\sigma_{vs} := \frac{(V1 + V2)}{Ls - 2 \cdot e17} = 300.524 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

Cálculo Factor de Seguridad desplazamiento

$$\text{quits} := c \cdot Nc + 0.5 \cdot (Ls - 2 \cdot e17) \cdot \gamma f \cdot N\gamma = 1.218 \times 10^3 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

$$\text{FSdr} \geq 0.75 \cdot 2.5 \quad \text{FSdr} \geq 1.88$$

$$\text{FSdr} := \frac{\text{quits}}{\sigma_{vs}} = 4.053 \quad \text{OK}$$



Se recuerda los cálculos realizados para el análisis estático:

$$d01 = 0.47 \text{ m} \quad T_{\max 1} = 4.83 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$d02 = 1.07 \text{ m} \quad T_{\max 2} = 5.803 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$d03 = 1.68 \text{ m} \quad T_{\max 3} = 7.909 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$d04 = 2.29 \text{ m} \quad T_{\max 4} = 9.967 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$d05 = 2.9 \text{ m} \quad T_{\max 5} = 12.025 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$d06 = 3.51 \text{ m} \quad T_{\max 6} = 14.083 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$d07 = 4.12 \text{ m} \quad T_{\max 7} = 16.141 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$d08 = 4.73 \text{ m} \quad T_{\max 8} = 18.198 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$d09 = 5.34 \text{ m} \quad T_{\max 9} = 20.256 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$d10 = 5.95 \text{ m} \quad T_{\max 10} = 18.656 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$d11 = 6.36 \text{ m} \quad T_{\max 11} = 15.734 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$d12 = 6.76 \text{ m} \quad T_{\max 12} = 16.63 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$d13 = 7.17 \text{ m} \quad T_{\max 13} = 17.765 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$d14 = 7.58 \text{ m} \quad T_{\max 14} = 18.466 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$d15 = 7.98 \text{ m} \quad T_{\max 15} = 19.362 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$d16 = 8.39 \text{ m} \quad T_{\max 16} = 20.531 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$d17 = 8.8 \text{ m} \quad T_{\max 17} = 21.199 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

Cálculo P_1

$$W_a := \left(\tan \left(45 \cdot \text{deg} - \frac{\phi_r}{2} \right) \cdot H \right) \cdot H \cdot 0.5 \cdot \gamma_r = 404.091 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$P_1 := A_m \cdot W_a = 129.309 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

Cálculo de tensiones por cada capa reforzada:

$$L_{e1} := L_s - (H - d01) \cdot \left(\tan \left(45 \cdot \text{deg} - \frac{\phi_r}{2} \right) \right) = 3.172 \text{ m}$$

$$L_{e2} := L_s - (H - d02) \cdot \left(\tan \left(45 \cdot \text{deg} - \frac{\phi_r}{2} \right) \right) = 3.504 \text{ m}$$

$$L_{e3} := L_s - (H - d03) \cdot \left(\tan \left(45 \cdot \text{deg} - \frac{\phi_r}{2} \right) \right) = 3.842 \text{ m}$$

$$L_{e4} := L_s - (H - d04) \cdot \left(\tan \left(45 \cdot \text{deg} - \frac{\phi_r}{2} \right) \right) = 4.181 \text{ m}$$

$$L_{e5} := L_s - (H - d05) \cdot \left(\tan \left(45 \cdot \text{deg} - \frac{\phi_r}{2} \right) \right) = 4.519 \text{ m}$$

$$L_{e6} := L_s - (H - d06) \cdot \left(\tan \left(45 \cdot \text{deg} - \frac{\phi_r}{2} \right) \right) = 4.857 \text{ m}$$

$$L_{e7} := L_s - (H - d07) \cdot \left(\tan \left(45 \cdot \text{deg} - \frac{\phi_r}{2} \right) \right) = 5.195 \text{ m}$$

$$L_{e8} := L_s - (H - d08) \cdot \left(\tan \left(45 \cdot \text{deg} - \frac{\phi_r}{2} \right) \right) = 5.533 \text{ m}$$

$$L_{e9} := L_s - (H - d09) \cdot \left(\tan \left(45 \cdot \text{deg} - \frac{\phi_r}{2} \right) \right) = 5.871 \text{ m}$$

$$L_{e10} := L_s - (H - d10) \cdot \left(\tan \left(45 \cdot \text{deg} - \frac{\phi_r}{2} \right) \right) = 6.209 \text{ m}$$

$$L_{e11} := L_s - (H - d11) \cdot \left(\tan \left(45 \cdot \text{deg} - \frac{\phi_r}{2} \right) \right) = 6.437 \text{ m}$$

$$L_{e12} := L_s - (H - d12) \cdot \left(\tan \left(45 \cdot \text{deg} - \frac{\phi_r}{2} \right) \right) = 6.658 \text{ m}$$

$$T_{\max} = T_{\text{aplicado}} + T_{\text{md}}$$

$$T_{\text{md}} = P_1 \cdot L_{ei} / \Sigma L_{ei}$$

$$T_{\text{aplicado}} = T_{\max} \text{ (por análisis estático)}$$

$$Le13 := Ls - (H - d13) \cdot \left(\tan \left(45 \cdot \text{deg} - \frac{\phi r}{2} \right) \right) = 6.886 \text{ m}$$

$$Le14 := Ls - (H - d14) \cdot \left(\tan \left(45 \cdot \text{deg} - \frac{\phi r}{2} \right) \right) = 7.113 \text{ m}$$

$$Le15 := Ls - (H - d15) \cdot \left(\tan \left(45 \cdot \text{deg} - \frac{\phi r}{2} \right) \right) = 7.335 \text{ m}$$

$$Le16 := Ls - (H - d16) \cdot \left(\tan \left(45 \cdot \text{deg} - \frac{\phi r}{2} \right) \right) = 7.562 \text{ m}$$

$$Le17 := Ls - (H - d17) \cdot \left(\tan \left(45 \cdot \text{deg} - \frac{\phi r}{2} \right) \right) = 7.789 \text{ m}$$

$$Letotal := Le1 + Le2 + Le3 + Le4 + Le5 + Le6 + Le7 + Le8 + Le9 + Le10 + Le11 + Le12 + Le13 + Le14 + Le15 + Le16 + Le17 = 96.662$$

$$Letotal = 96.662 \text{ m}$$

Cálculo de tensión para todas las capas reforzadas $T_{m di}$

$$Tmd1 := P1 \cdot \left(\frac{Le1}{Letotal} \right) = 4.243 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$Tmd2 := P1 \cdot \left(\frac{Le2}{Letotal} \right) = 4.688 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$Tmd3 := P1 \cdot \left(\frac{Le3}{Letotal} \right) = 5.14 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$Tmd4 := P1 \cdot \left(\frac{Le4}{Letotal} \right) = 5.593 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$Tmd5 := P1 \cdot \left(\frac{Le5}{Letotal} \right) = 6.045 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$Tmd6 := P1 \cdot \left(\frac{Le6}{Letotal} \right) = 6.497 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$Tmd7 := P1 \cdot \left(\frac{Le7}{Letotal} \right) = 6.95 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$Tmd8 := P1 \cdot \left(\frac{Le8}{Letotal} \right) = 7.402 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$Tmd9 := P1 \cdot \left(\frac{Le9}{Letotal} \right) = 7.854 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$Tmd10 := P1 \cdot \left(\frac{Le10}{Letotal} \right) = 8.307 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$Tmd11 := P1 \cdot \left(\frac{Le11}{Letotal} \right) = 8.611 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$T_{md12} := P1 \cdot \left(\frac{Le12}{Letotal} \right) = 8.907 \cdot \frac{kN}{m}$$

$$T_{md13} := P1 \cdot \left(\frac{Le13}{Letotal} \right) = 9.211 \cdot \frac{kN}{m}$$

$$T_{md14} := P1 \cdot \left(\frac{Le14}{Letotal} \right) = 9.515 \cdot \frac{kN}{m}$$

$$T_{md15} := P1 \cdot \left(\frac{Le15}{Letotal} \right) = 9.812 \cdot \frac{kN}{m}$$

$$T_{md16} := P1 \cdot \left(\frac{Le16}{Letotal} \right) = 10.116 \cdot \frac{kN}{m}$$

$$T_{md17} := P1 \cdot \left(\frac{Le17}{Letotal} \right) = 10.42 \cdot \frac{kN}{m}$$

Verificación de Tensiones según Geomallas de refuerzo, para el desarrollo de éste diseño se seleccionaron los siguientes geosintéticos de Tensar:

Tensiones últimas de refuerzos

$$T_{ux1400} := 70 \frac{kN}{m} \quad UX1400 \text{ MSE}$$

$$T_{ux1500} := 114 \frac{kN}{m} \quad UX1500 \text{ MSE}$$

$$T_{ux1600} := 144 \frac{kN}{m} \quad UX1600 \text{ MSE}$$

$$T_{\text{última}} = S_{rs} + S_{rt} \quad \text{Tensión última ec. 5.8.9.2-5 AASHTO 1998}$$

$$T_{\text{max}} < (S_{rs} * Rc) / (FS * RF) \quad \text{Tensión máxima componente estático ec. 5.8.9.2-5 AASHTO 1998}$$

$$T_{\text{md}} < (S_{rt} * Rc) / (FS * FS_{ID} * FS_D) \quad \text{Tensión máxima componente Dinámico ec. 5.8.9.2-5 AASHTO 1998}$$

$$Rc := 100\% = 1 \quad \text{Considera el 100\% de utilidad del refuerzo}$$

$$FSe := 1.5 \quad \text{Factor de Seguridad modo estático}$$

$$FSd := 1.13 \quad \text{Factor de Seguridad modo dinámico}$$

$$FSID := 1.12 \quad \text{Factor de seguridad por tipo de suelo}$$

$$FSD := 1.1 \quad \text{Factor de seguridad por implementación}$$

$$RF := 3.1 \cdot 1.1 \cdot 1.12 = 3.81 \quad \text{Factor de Seguridad por Reducción}$$

Refuerzo N°1

$$Srs1 := T_{max1} \cdot \frac{(FSe \cdot RF)}{Rc} = 27.671 \cdot \frac{kN}{m}$$

$$Srt1 := T_{md1} \cdot \frac{(FSD \cdot FSID \cdot FSD)}{Rc} = 5.907 \cdot \frac{kN}{m}$$

$$\underline{T_{ux1400}} := 70 \frac{kN}{m} \quad UX1400 \text{ MSE}$$

$$T_{ult1} := Srs1 + Srt1 = 33.578 \cdot \frac{kN}{m} \quad T_{ult1} \leq UX1400MSE \quad \text{Cumple}$$

Refuerzo N°2

$$Srs2 := T_{max2} \cdot \frac{(FSe \cdot RF)}{Rc} = 33.243 \cdot \frac{kN}{m}$$

$$Srt2 := T_{md2} \cdot \frac{(FSD \cdot FSID \cdot FSD)}{Rc} = 6.526 \cdot \frac{kN}{m}$$

$$\underline{T_{ux1400}} := 70 \frac{kN}{m} \quad UX1400 \text{ MSE}$$

$$T_{ult2} := Srs2 + Srt2 = 39.769 \cdot \frac{kN}{m} \quad T_{ult2} \leq UX1400MSE \quad \text{Cumple}$$

Refuerzo N°3

$$Srs3 := T_{max3} \cdot \frac{(FSe \cdot RF)}{Rc} = 45.307 \cdot \frac{kN}{m}$$

$$Srt3 := T_{md3} \cdot \frac{(FSD \cdot FSID \cdot FSD)}{Rc} = 7.156 \cdot \frac{kN}{m}$$

$$\underline{T_{ux1400}} := 70 \frac{kN}{m} \quad UX1400 \text{ MSE}$$

$$T_{ult3} := Srs3 + Srt3 = 52.463 \cdot \frac{kN}{m} \quad T_{ult3} \leq UX1400MSE \quad \text{Cumple}$$

Refuerzo N°4

$$Srs4 := T_{max4} \cdot \frac{(FSe \cdot RF)}{Rc} = 57.097 \cdot \frac{kN}{m}$$

$$Srt4 := T_{md4} \cdot \frac{(FSd \cdot FSID \cdot FSD)}{Rc} = 7.786 \cdot \frac{kN}{m}$$

$$\underline{T_{ux1400}} := 70 \frac{kN}{m} \quad UX1400 \text{ MSE}$$

$$Tult4 := Srs4 + Srt4 = 64.883 \cdot \frac{kN}{m} \quad Tult4 \leq UX1400MSE \quad \text{Cumple}$$

Refuerzo N°5

$$Srs5 := T_{max5} \cdot \frac{(FSe \cdot RF)}{Rc} = 68.887 \cdot \frac{kN}{m}$$

$$Srt5 := T_{md5} \cdot \frac{(FSd \cdot FSID \cdot FSD)}{Rc} = 8.415 \cdot \frac{kN}{m}$$

$$\underline{T_{ux1500}} := 114 \frac{kN}{m} \quad UX1500 \text{ MSE}$$

$$Tult5 := Srs5 + Srt5 = 77.302 \cdot \frac{kN}{m} \quad Tult5 \leq UX1500MSE \quad \text{Cumple}$$

Refuerzo N°6

$$Srs6 := T_{max6} \cdot \frac{(FSe \cdot RF)}{Rc} = 80.676 \cdot \frac{kN}{m}$$

$$Srt6 := T_{md6} \cdot \frac{(FSd \cdot FSID \cdot FSD)}{Rc} = 9.045 \cdot \frac{kN}{m}$$

$$\underline{T_{ux1500}} := 114 \frac{kN}{m} \quad UX1500 \text{ MSE}$$

$$Tult6 := Srs6 + Srt6 = 89.721 \cdot \frac{kN}{m} \quad Tult6 \leq UX1500MSE \quad \text{Cumple}$$

Refuerzo N°7

$$Srs7 := T_{max7} \cdot \frac{(FSe \cdot RF)}{Rc} = 92.466 \cdot \frac{kN}{m}$$

$$Srt7 := T_{md7} \cdot \frac{(FSd \cdot FSID \cdot FSD)}{Rc} = 9.675 \cdot \frac{kN}{m}$$

$$T_{ux1500} := 114 \frac{kN}{m} \quad UX1500 \text{ MSE}$$

$$T_{ult7} := Srs7 + Srt7 = 102.141 \cdot \frac{kN}{m} \quad T_{ult7} \leq UX1500MSE \quad \text{Cumple}$$

Refuerzo N°8

$$Srs8 := T_{max8} \cdot \frac{(FSe \cdot RF)}{Rc} = 104.255 \cdot \frac{kN}{m}$$

$$Srt8 := T_{md8} \cdot \frac{(FSd \cdot FSID \cdot FSD)}{Rc} = 10.305 \cdot \frac{kN}{m}$$

$$T_{ux1600} := 144 \frac{kN}{m} \quad UX1600 \text{ MSE}$$

$$T_{ult8} := Srs8 + Srt8 = 114.56 \cdot \frac{kN}{m} \quad T_{ult8} \leq UX1600MSE \quad \text{Cumple}$$

Refuerzo N°9

$$Srs9 := T_{max9} \cdot \frac{(FSe \cdot RF)}{Rc} = 116.045 \cdot \frac{kN}{m}$$

$$Srt9 := T_{md9} \cdot \frac{(FSd \cdot FSID \cdot FSD)}{Rc} = 10.934 \cdot \frac{kN}{m}$$

$$T_{ux1600} := 144 \frac{kN}{m} \quad UX1600 \text{ MSE}$$

$$T_{ult9} := Srs9 + Srt9 = 126.979 \cdot \frac{kN}{m} \quad T_{ult9} \leq UX1600MSE \quad \text{Cumple}$$

Refuerzo N°10

$$Srs10 := T_{max10} \cdot \frac{(FSe \cdot RF)}{Rc} = 106.878 \cdot \frac{kN}{m}$$

$$Srt10 := T_{md10} \cdot \frac{(FSd \cdot FSID \cdot FSD)}{Rc} = 11.564 \cdot \frac{kN}{m}$$

$$T_{ux1600} := 144 \cdot \frac{kN}{m} \quad UX1600 \text{ MSE}$$

$$T_{ult10} := Srs10 + Srt10 = 118.442 \cdot \frac{kN}{m} \quad T_{ult10} \leq UX1600MSE \quad \text{Cumple}$$

Refuerzo N°11

$$Srs11 := T_{max11} \cdot \frac{(FSe \cdot RF)}{Rc} = 90.135 \cdot \frac{kN}{m}$$

$$Srt11 := T_{md11} \cdot \frac{(FSd \cdot FSID \cdot FSD)}{Rc} = 11.987 \cdot \frac{kN}{m}$$

$$T_{ux1500} = 114 \cdot \frac{kN}{m} \quad UX1500 \text{ MSE}$$

$$T_{ult11} := Srs11 + Srt11 = 102.122 \cdot \frac{kN}{m} \quad T_{ult11} \leq UX1500MSE \quad \text{Cumple}$$

Refuerzo N°12

$$Srs12 := T_{max12} \cdot \frac{(FSe \cdot RF)}{Rc} = 95.268 \cdot \frac{kN}{m}$$

$$Srt12 := T_{md12} \cdot \frac{(FSd \cdot FSID \cdot FSD)}{Rc} = 12.4 \cdot \frac{kN}{m}$$

$$T_{ux1500} = 114 \cdot \frac{kN}{m} \quad UX1500 \text{ MSE}$$

$$T_{ult12} := Srs12 + Srt12 = 107.668 \cdot \frac{kN}{m} \quad T_{ult12} \leq UX1500MSE \quad \text{Cumple}$$

Refuerzo N°13

$$Srs13 := T_{max13} \cdot \frac{(F_{Se} \cdot RF)}{R_c} = 101.77 \cdot \frac{kN}{m}$$

$$Srt13 := T_{md13} \cdot \frac{(F_{Sd} \cdot F_{SID} \cdot F_{SD})}{R_c} = 12.823 \cdot \frac{kN}{m}$$

$$T_{ux1600} = 144 \cdot \frac{kN}{m} \quad UX1600 \text{ MSE}$$

$$T_{ult13} := Srs13 + Srt13 = 114.593 \cdot \frac{kN}{m} \quad T_{ult13} \leq UX1600MSE \quad \text{Cumple}$$

Refuerzo N°14

$$Srs14 := T_{max14} \cdot \frac{(F_{Se} \cdot RF)}{R_c} = 105.79 \cdot \frac{kN}{m}$$

$$Srt14 := T_{md14} \cdot \frac{(F_{Sd} \cdot F_{SID} \cdot F_{SD})}{R_c} = 13.247 \cdot \frac{kN}{m}$$

$$T_{ux1600} = 144 \cdot \frac{kN}{m} \quad UX1600 \text{ MSE}$$

$$T_{ult14} := Srs14 + Srt14 = 119.037 \cdot \frac{kN}{m} \quad T_{ult14} \leq UX1600MSE \quad \text{Cumple}$$

Refuerzo N°15

$$Srs15 := T_{max15} \cdot \frac{(F_{Se} \cdot RF)}{R_c} = 110.923 \cdot \frac{kN}{m}$$

$$Srt15 := T_{md15} \cdot \frac{(F_{Sd} \cdot F_{SID} \cdot F_{SD})}{R_c} = 13.66 \cdot \frac{kN}{m}$$

$$T_{ux1600} = 144 \cdot \frac{kN}{m} \quad UX1600 \text{ MSE}$$

$$T_{ult15} := Srs15 + Srt15 = 124.582 \cdot \frac{kN}{m} \quad T_{ult15} \leq UX1600MSE \quad \text{Cumple}$$

Refuerzo N°16

$$Srs16 := T_{max16} \cdot \frac{(FSe \cdot RF)}{Rc} = 117.618 \cdot \frac{kN}{m}$$

$$Srt16 := T_{md16} \cdot \frac{(FSd \cdot FSID \cdot FSD)}{Rc} = 14.083 \cdot \frac{kN}{m}$$

$$T_{ux1600} = 144 \cdot \frac{kN}{m} \quad UX1600 \text{ MSE}$$

$$T_{ult16} := Srs16 + Srt16 = 131.701 \cdot \frac{kN}{m} \quad T_{ult16} \leq UX1600MSE \quad \text{Cumple}$$

Refuerzo N°17

$$Srs17 := T_{max17} \cdot \frac{(FSe \cdot RF)}{Rc} = 121.445 \cdot \frac{kN}{m}$$

$$Srt17 := T_{md17} \cdot \frac{(FSd \cdot FSID \cdot FSD)}{Rc} = 14.506 \cdot \frac{kN}{m}$$

$$T_{ux1600} = 144 \cdot \frac{kN}{m} \quad UX1500 \text{ MSE}$$

$$T_{ult17} := Srs17 + Srt17 = 135.951 \cdot \frac{kN}{m} \quad T_{ult17} \leq UX1600MSE \quad \text{Cumple}$$

Verificación del Pullout de cada capa reforzada

$$T_{maxs} < T_{po} = (C * (0.8) * F^* * \gamma * d * Le * Rc * \alpha) / (0.75 * 1.5)$$

C = 2 Por refuerzo

$F^* = \tan \phi * C_i$ Siendo $C_i = 0.8$ Coeficiente de fricción entre el refuerzo y suelo.

$$\gamma_r = 18 \cdot \frac{kN}{m^3} \quad \text{Suelo reforzado}$$

d_i = Profundidad del refuerzo.

R_c = Porcentaje de cobertura, 100% = 1

L_e = Largo del refuerzo

α = Factor corrección efectiva = 1.0 (Tensar).

$\alpha := 1.0$

T_{maxs} = Tensión sísmica

Refuerzo N°1

$$T_{p01} := \frac{(2 \cdot 0.8 \cdot 0.8 \cdot \tan(\phi_r) \cdot \gamma_r \cdot d_{01} \cdot L_{e1} \cdot R_c \cdot \alpha)}{(0.75 \cdot 1.5)} = 19.077 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$T_{\text{max}1s} := T_{\text{max}1} + T_{\text{md}1} = 9.073 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$T_{\text{max}1s} < T_{p01} \quad \text{Cumple}$$

Refuerzo N°2

$$T_{p02} := \frac{(2 \cdot 0.8 \cdot 0.8 \cdot \tan(\phi_r) \cdot \gamma_r \cdot d_{02} \cdot L_{e2} \cdot R_c \cdot \alpha)}{(0.75 \cdot 1.5)} = 47.985 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$T_{\text{max}2s} := T_{\text{max}2} + T_{\text{md}2} = 10.491 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$T_{\text{max}2s} < T_{p02} \quad \text{Cumple}$$

Refuerzo N°3

$$T_{p03} := \frac{(2 \cdot 0.8 \cdot 0.8 \cdot \tan(\phi_r) \cdot \gamma_r \cdot d_{03} \cdot L_{e3} \cdot R_c \cdot \alpha)}{(0.75 \cdot 1.5)} = 82.611 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$T_{\text{max}3s} := T_{\text{max}3} + T_{\text{md}3} = 13.049 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$T_{\text{max}3s} < T_{p03} \quad \text{Cumple}$$

Refuerzo N°4

$$T_{p04} := \frac{(2 \cdot 0.8 \cdot 0.8 \cdot \tan(\phi_r) \cdot \gamma_r \cdot d_{04} \cdot L_{e4} \cdot R_c \cdot \alpha)}{(0.75 \cdot 1.5)} = 122.516 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$T_{\text{max}4s} := T_{\text{max}4} + T_{\text{md}4} = 15.559 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$T_{\text{max}4s} < T_{p04} \quad \text{Cumple}$$

Refuerzo N°5

$$T_{po5} := \frac{(2 \cdot 0.8 \cdot 0.8 \cdot \tan(\phi_r) \cdot \gamma_r \cdot d_{05} \cdot L_{e5} \cdot R_c \cdot \alpha)}{(0.75 \cdot 1.5)} = 167.7 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$T_{max5s} := T_{max5} + T_{md5} = 18.069 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$T_{max5s} < T_{po5}$ Cumple

Refuerzo N°6

$$T_{po6} := \frac{(2 \cdot 0.8 \cdot 0.8 \cdot \tan(\phi_r) \cdot \gamma_r \cdot d_{06} \cdot L_{e6} \cdot R_c \cdot \alpha)}{(0.75 \cdot 1.5)} = 218.163 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$T_{max6s} := T_{max6} + T_{md6} = 20.58 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$T_{max6s} < T_{po6}$ Cumple

Refuerzo N°7

$$T_{po7} := \frac{(2 \cdot 0.8 \cdot 0.8 \cdot \tan(\phi_r) \cdot \gamma_r \cdot d_{07} \cdot L_{e7} \cdot R_c \cdot \alpha)}{(0.75 \cdot 1.5)} = 273.905 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$T_{max7s} := T_{max7} + T_{md7} = 23.09 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$T_{max7s} < T_{po7}$ Cumple

Refuerzo N°8

$$T_{po8} := \frac{(2 \cdot 0.8 \cdot 0.8 \cdot \tan(\phi_r) \cdot \gamma_r \cdot d_{08} \cdot L_{e8} \cdot R_c \cdot \alpha)}{(0.75 \cdot 1.5)} = 334.926 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$T_{max8s} := T_{max8} + T_{md8} = 25.6 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$T_{max8s} < T_{po8}$ Cumple

Refuerzo N°9

$$T_{po9} := \frac{(2 \cdot 0.8 \cdot 0.8 \cdot \tan(\phi_r) \cdot \gamma_r \cdot d_{09} \cdot L_{e9} \cdot R_c \cdot \alpha)}{(0.75 \cdot 1.5)} = 401.226 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$T_{max9s} := T_{max9} + T_{md9} = 28.111 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$T_{max9s} < T_{po9}$ Cumple

Refuerzo N°10

$$T_{po10} := \frac{(2 \cdot 0.8 \cdot 0.8 \cdot \tan(\phi_r) \cdot \gamma_r \cdot d_{10} \cdot L_{e10} \cdot R_c \cdot \alpha)}{(0.75 \cdot 1.5)} = 472.806 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$T_{max10s} := T_{max10} + T_{md10} = 26.963 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$T_{max10s} < T_{po10}$ Cumple

Refuerzo N°11

$$T_{po11} := \frac{(2 \cdot 0.8 \cdot 0.8 \cdot \tan(\phi_r) \cdot \gamma_r \cdot d_{11} \cdot L_{e11} \cdot R_c \cdot \alpha)}{(0.75 \cdot 1.5)} = 523.883 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{r}}$$

$$T_{max11s} := T_{max11} + T_{md11} = 24.344 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$T_{max11s} < T_{po11}$ Cumple

Refuerzo N°12

$$T_{po12} := \frac{(2 \cdot 0.8 \cdot 0.8 \cdot \tan(\phi_r) \cdot \gamma_r \cdot d_{12} \cdot L_{e12} \cdot R_c \cdot \alpha)}{(0.75 \cdot 1.5)} = 576.013 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{r}}$$

$$T_{max12s} := T_{max12} + T_{md12} = 25.537 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$T_{max12s} < T_{po12}$ Cumple

Refuerzo N°13

$$T_{po13} := \frac{(2 \cdot 0.8 \cdot 0.8 \cdot \tan(\phi_r) \cdot \gamma_r \cdot d_{13} \cdot L_{e13} \cdot R_c \cdot \alpha)}{(0.75 \cdot 1.5)} = 631.802 \cdot \frac{\text{k}\Omega}{\text{r}}$$

$$T_{max13s} := T_{max13} + T_{md13} = 26.976 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$T_{max13s} < T_{po13} \quad \text{Cumple}$$

Refuerzo N°14

$$T_{po14} := \frac{(2 \cdot 0.8 \cdot 0.8 \cdot \tan(\phi_r) \cdot \gamma_r \cdot d_{14} \cdot L_{e14} \cdot R_c \cdot \alpha)}{(0.75 \cdot 1.5)} = 689.976 \cdot \frac{\text{k}\Omega}{\text{r}}$$

$$T_{max14s} := T_{max14} + T_{md14} = 27.982 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$T_{max14s} < T_{po14} \quad \text{Cumple}$$

Refuerzo N°15

$$T_{po15} := \frac{(2 \cdot 0.8 \cdot 0.8 \cdot \tan(\phi_r) \cdot \gamma_r \cdot d_{15} \cdot L_{e15} \cdot R_c \cdot \alpha)}{(0.75 \cdot 1.5)} = 749.029 \cdot \frac{\text{k}\Omega}{\text{r}}$$

$$T_{max15s} := T_{max15} + T_{md15} = 29.174 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$T_{max15s} < T_{po15} \quad \text{Cumple}$$

Refuerzo N°16

$$T_{po16} := \frac{(2 \cdot 0.8 \cdot 0.8 \cdot \tan(\phi_r) \cdot \gamma_r \cdot d_{16} \cdot L_{e16} \cdot R_c \cdot \alpha)}{(0.75 \cdot 1.5)} = 811.915 \cdot \frac{\text{k}\Omega}{\text{r}}$$

$$T_{max16s} := T_{max16} + T_{md16} = 30.647 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$T_{max16s} < T_{po16} \quad \text{Cumple}$$

Refuerzo N°17

$$T_{po17} := \frac{(2 \cdot 0.8 \cdot 0.8 \cdot \tan(\phi_r) \cdot \gamma_r \cdot d_{17} \cdot Le_{17} \cdot R_c \cdot \alpha)}{(0.75 \cdot 1.5)} = 877.185 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$T_{max17s} := T_{max17} + T_{md17} = 31.619 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$T_{max17s} < T_{po17}$ Cumple

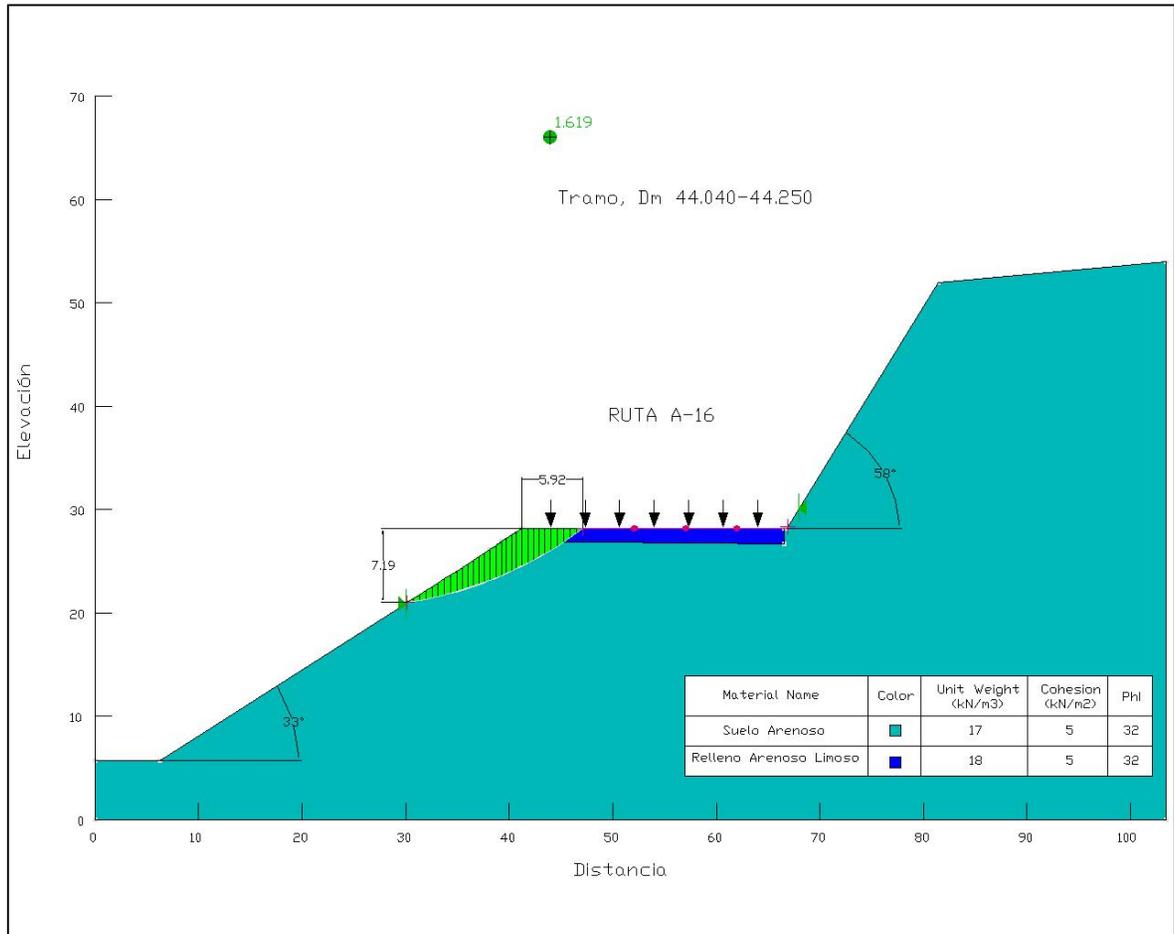
RESULTADOS OBTENIDOS PARA MUROS MECÁNICAMENTE ESTABILIZADO

N° Capa Reforzada	Profundidad	Tult. Refuerzo (kN/m)	Tmax Estático	Tmax Dinámico
1	d01 = 0.47 m	70	$T_{max1} = 4.83 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}}$	$T_{max1s} = 9.073 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}}$
2	d02 = 1.07 m	70	$T_{max2} = 5.803 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}}$	$T_{max2s} = 10.491 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}}$
3	d03 = 1.68 m	70	$T_{max3} = 7.909 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}}$	$T_{max3s} = 13.049 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}}$
4	d04 = 2.29 m	70	$T_{max4} = 9.967 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}}$	$T_{max4s} = 15.559 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}}$
5	d05 = 2.9 m	114	$T_{max5} = 12.025 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}}$	$T_{max5s} = 18.069 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}}$
6	d06 = 3.51 m	114	$T_{max6} = 14.083 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}}$	$T_{max6s} = 20.58 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}}$
7	d07 = 4.12 m	114	$T_{max7} = 16.141 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}}$	$T_{max7s} = 23.09 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}}$
8	d08 = 4.73 m	144	$T_{max8} = 18.198 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}}$	$T_{max8s} = 25.6 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}}$
9	d09 = 5.34 m	144	$T_{max9} = 20.256 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}}$	$T_{max9s} = 28.111 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}}$
10	d10 = 5.95 m	144	$T_{max10} = 18.656 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}}$	$T_{max10s} = 26.963 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}}$
11	d11 = 6.36 m	114	$T_{max11} = 15.734 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}}$	$T_{max11s} = 24.344 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}}$
12	d12 = 6.76 m	114	$T_{max12} = 16.63 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}}$	$T_{max12s} = 25.537 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}}$
13	d13 = 7.17 m	144	$T_{max13} = 17.765 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}}$	$T_{max13s} = 26.976 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}}$
14	d14 = 7.58 m	144	$T_{max14} = 18.466 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}}$	$T_{max14s} = 27.982 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}}$

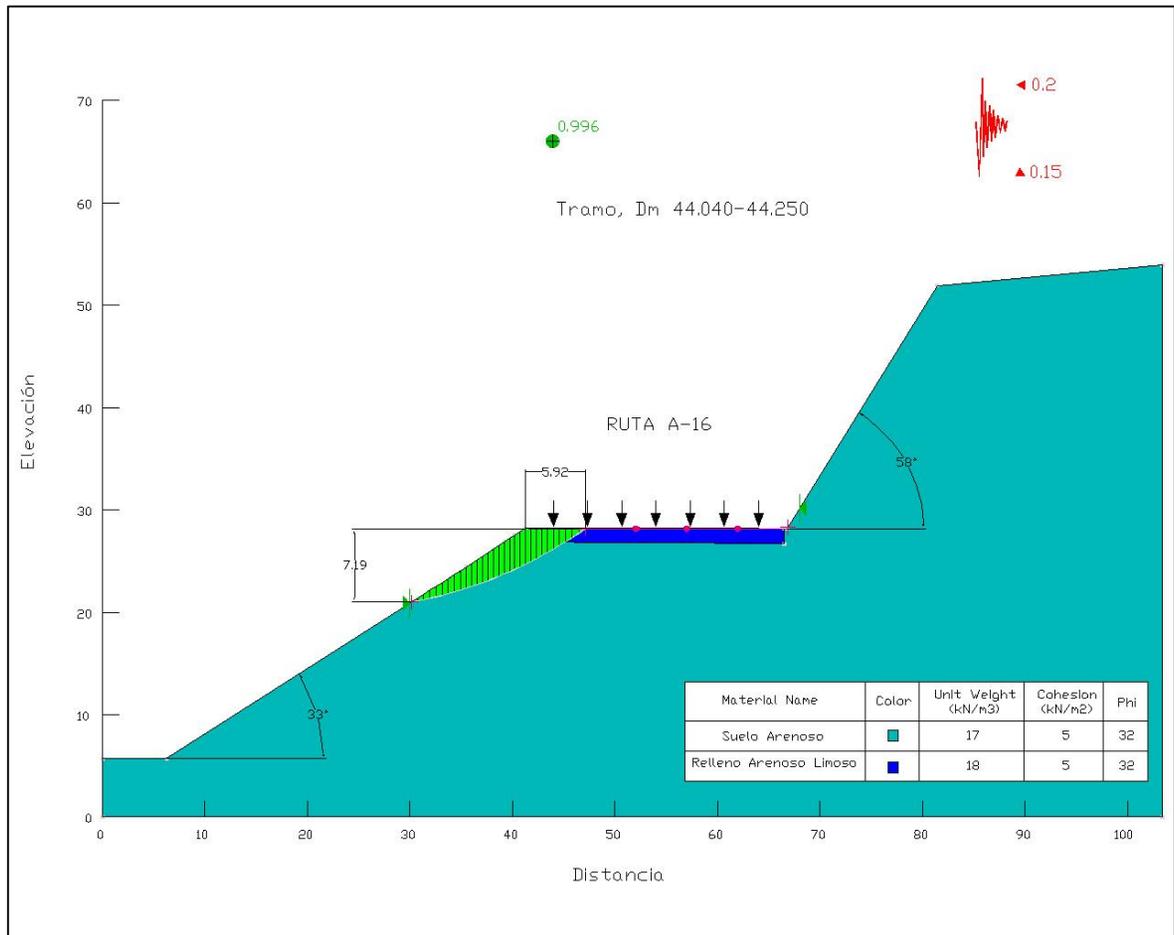
15	$d_{15} = 7.98 \text{ m}$	144	$T_{\max 15} = 19.362 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}}$	$T_{\max 15s} = 29.174 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}}$
16	$d_{16} = 8.39 \text{ m}$	144	$T_{\max 16} = 20.531 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}}$	$T_{\max 16s} = 30.647 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}}$
17	$d_{17} = 8.8 \text{ m}$	144	$T_{\max 17} = 21.199 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}}$	$T_{\max 17s} = 31.619 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}}$

ANEXO F: SITUACIÓN SIN PROYECTO. TALUD NATURAL

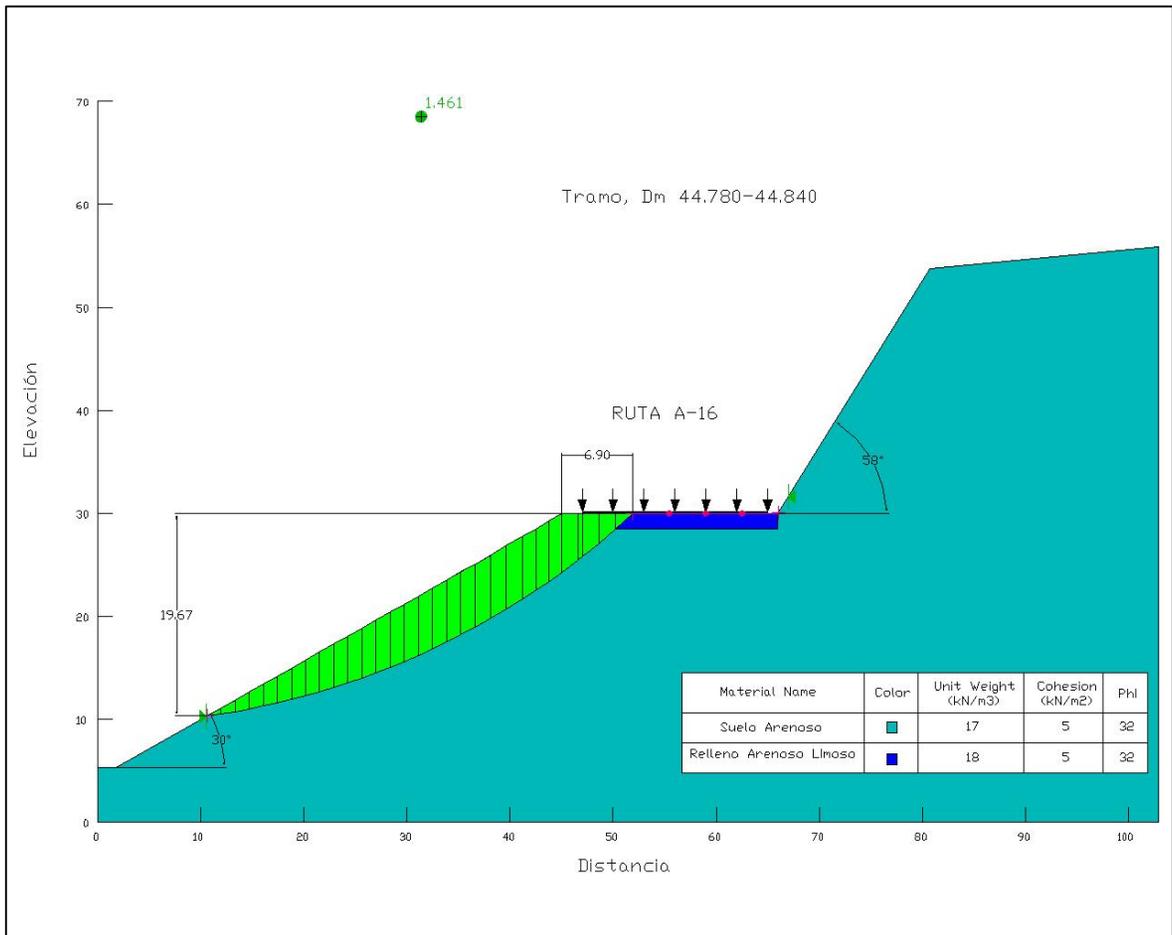
Análisis Estático. Dm 44.040 – Dm 44.250



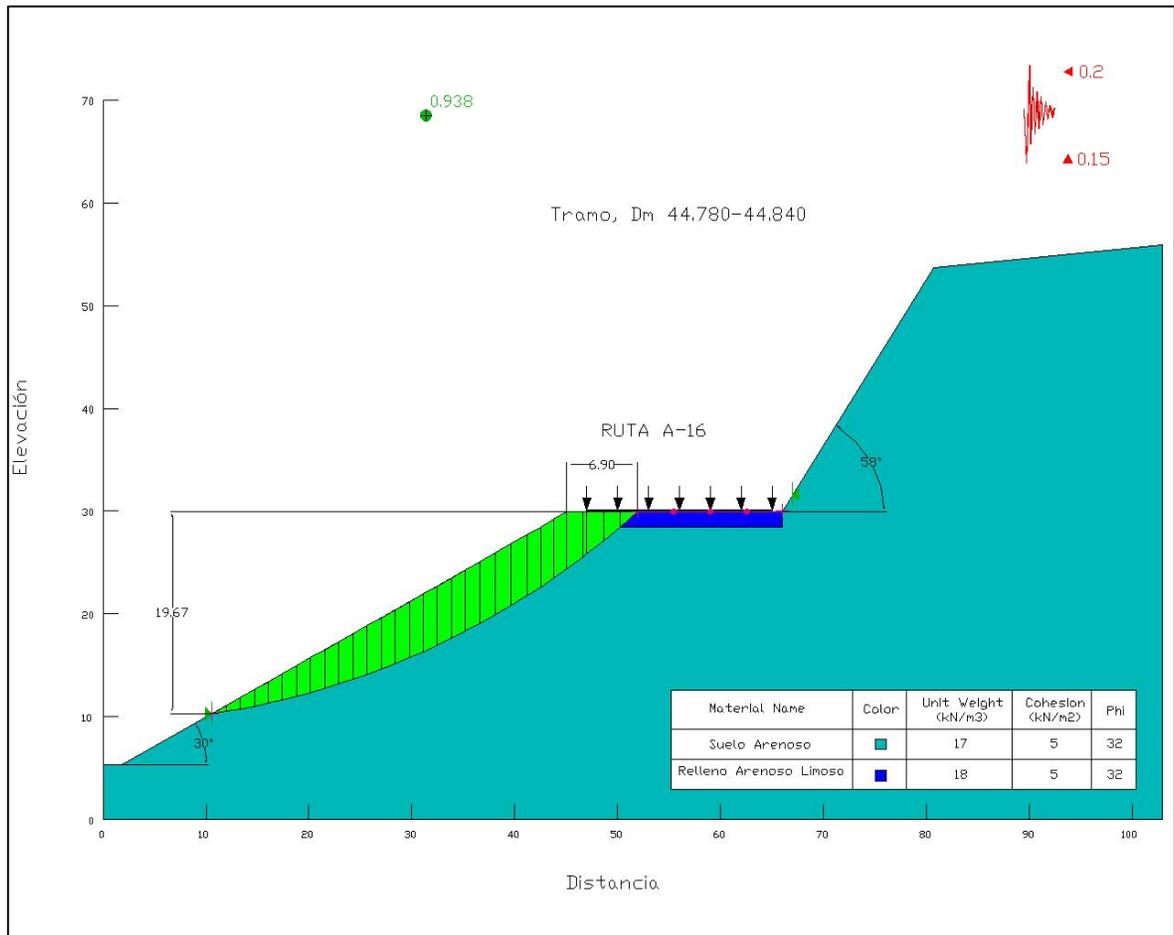
Análisis Pseudo - Estático. Dm 44.040 – Dm 44.250



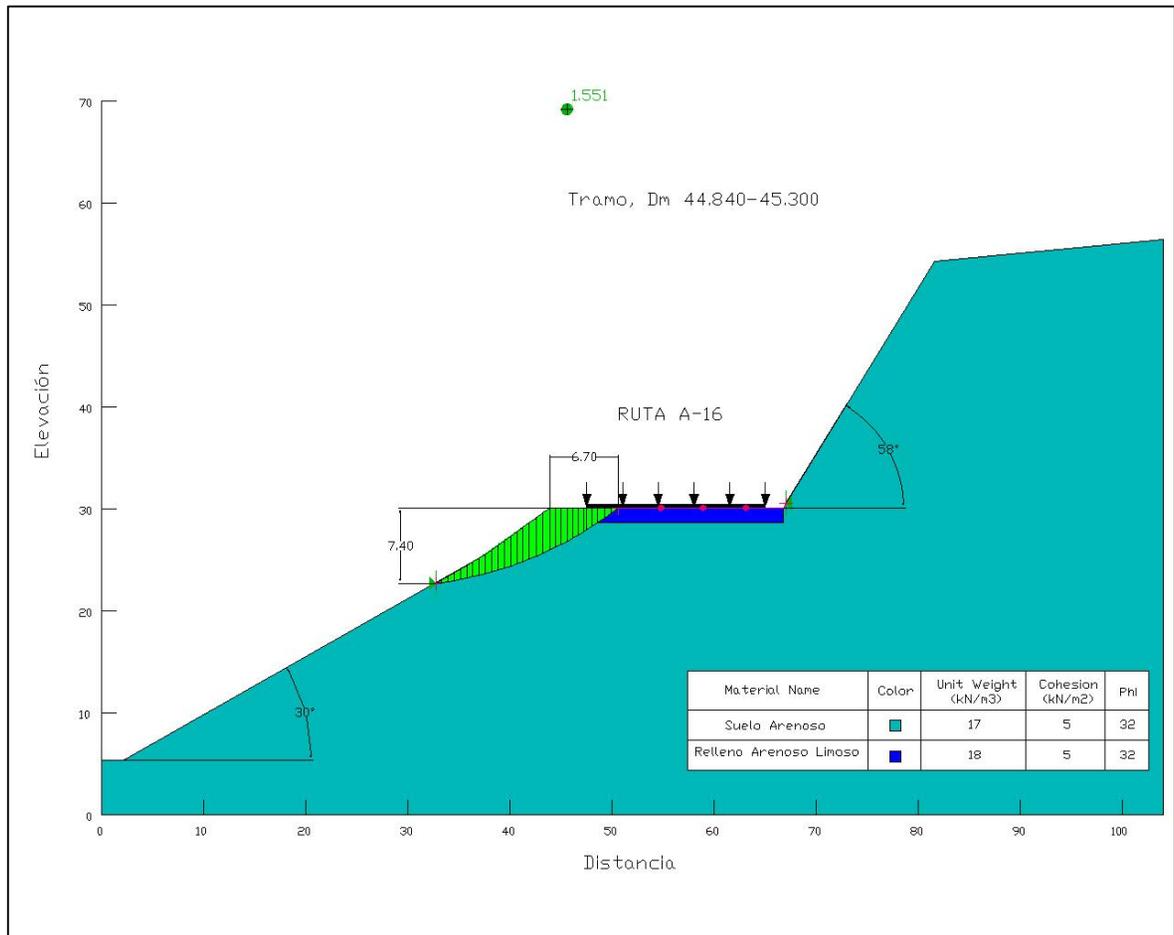
Análisis Estático. Dm 44.780 – Dm 44.840



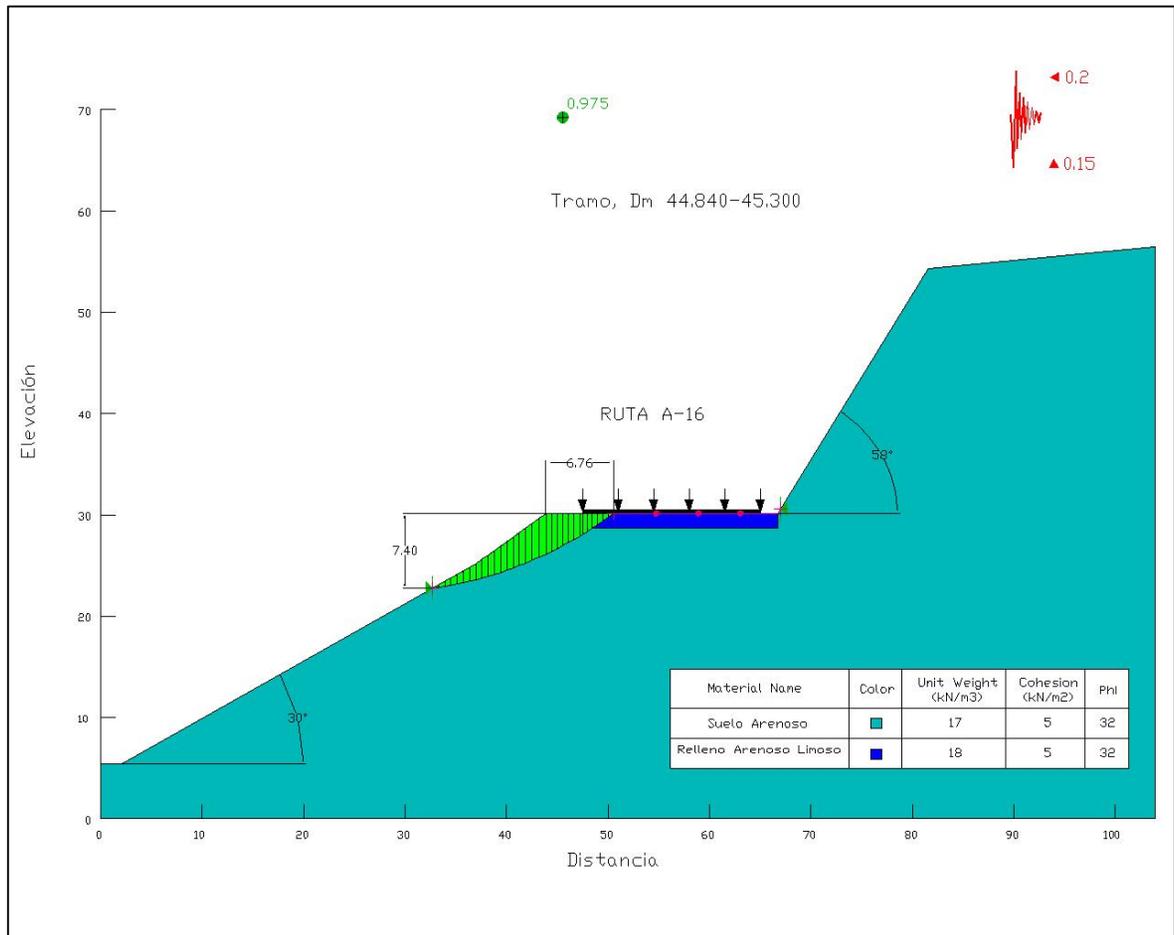
Análisis Pseudo - Estático. Dm 44.780 – Dm 44.840



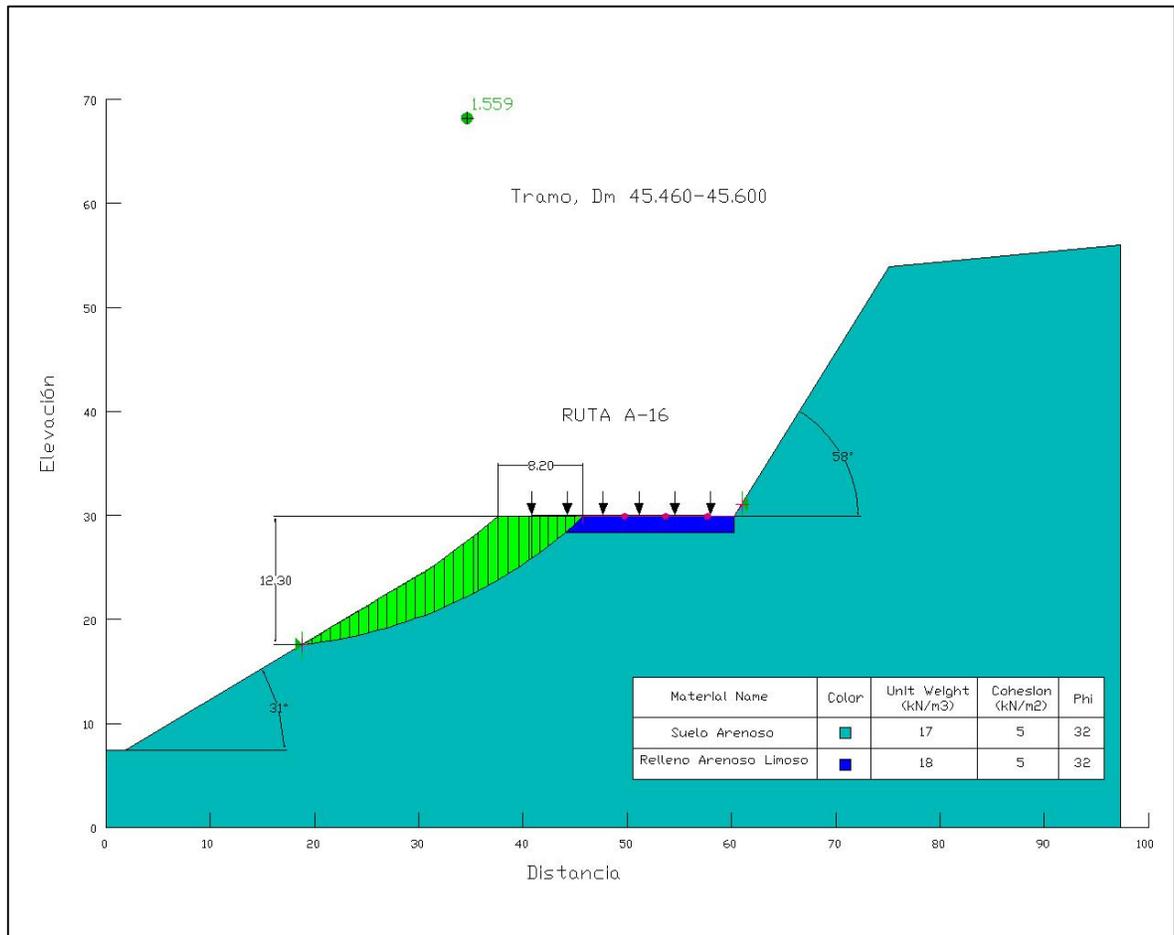
Análisis Estático. Dm 44.840 – Dm 45.300



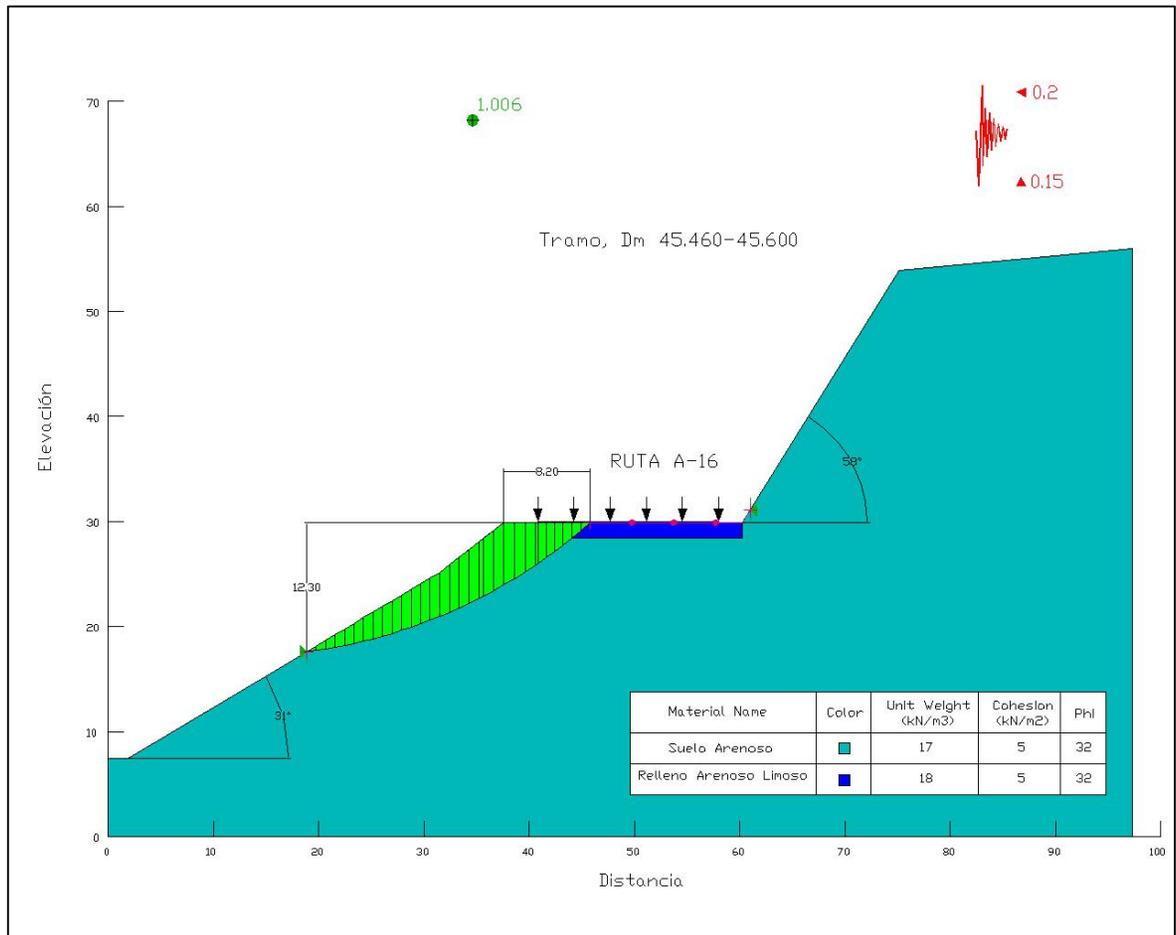
Análisis Pseudo - Estático. Dm 44.840 – Dm 45.300



Análisis Estático. Dm 45.460 – Dm 45.600

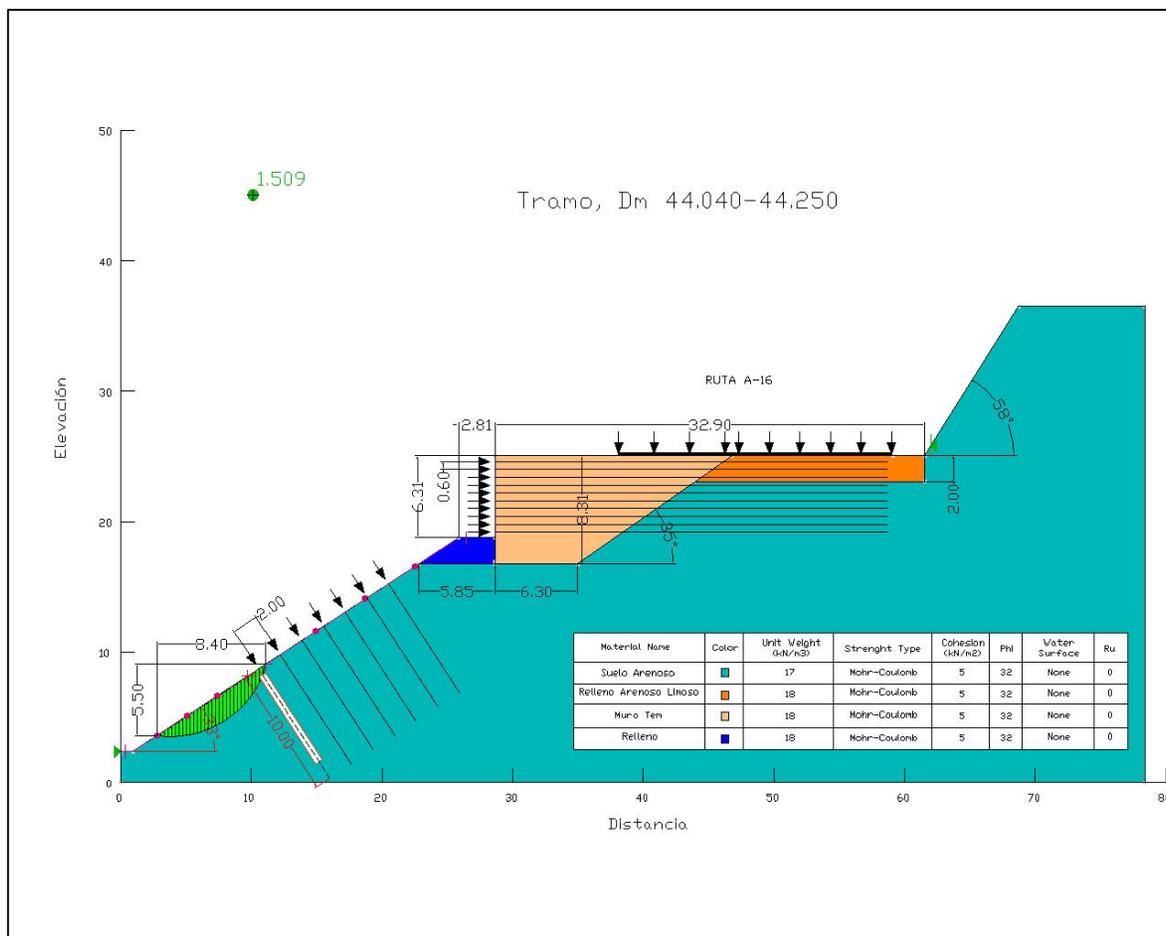


Análisis Pseudo - Estático. Dm 45.460 – Dm 45.600

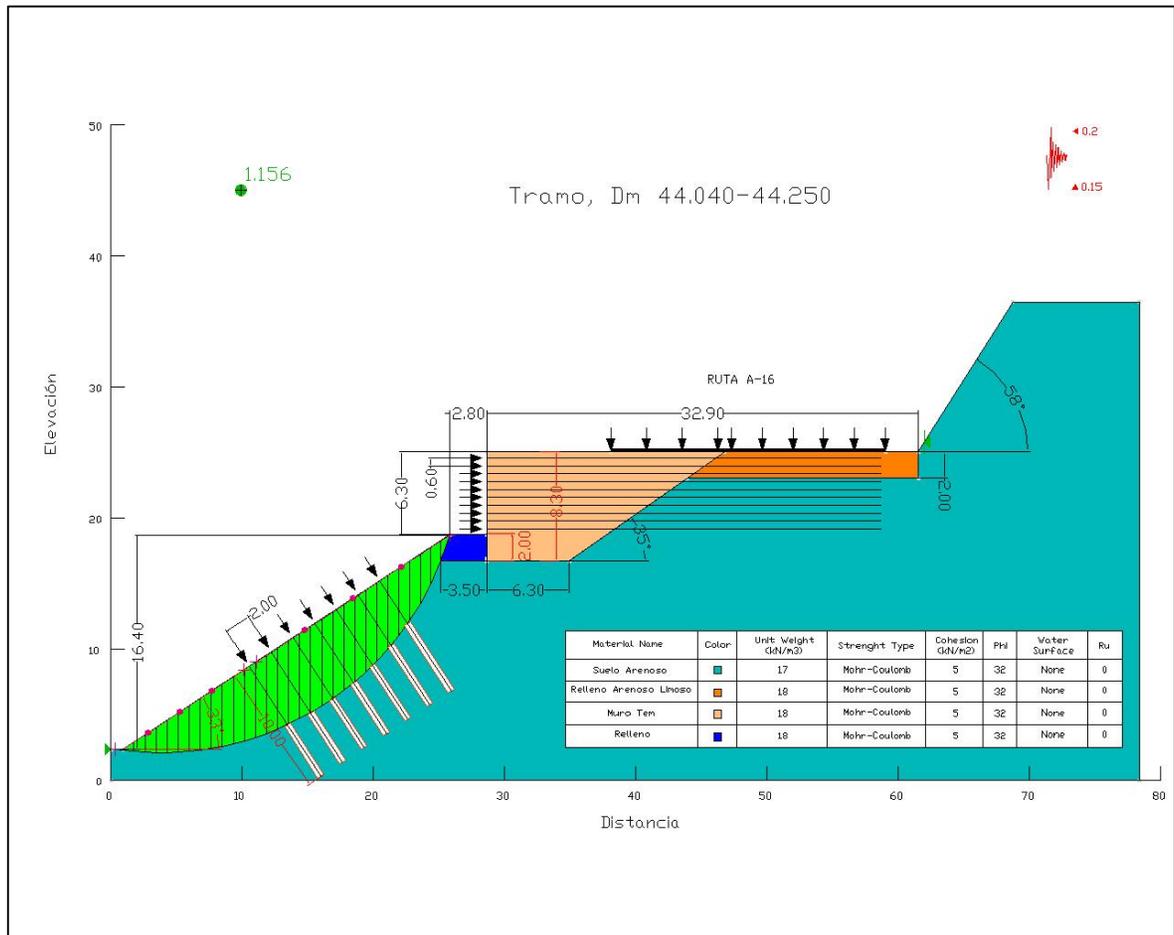


ANEXO G: SITUACIÓN CON PROYECTO. MODELACIONES CON REFUERZOS PARA EL ESTUDIO DE ANÁLISIS ESTÁTICO Y PSEUDO-ESTÁTICO

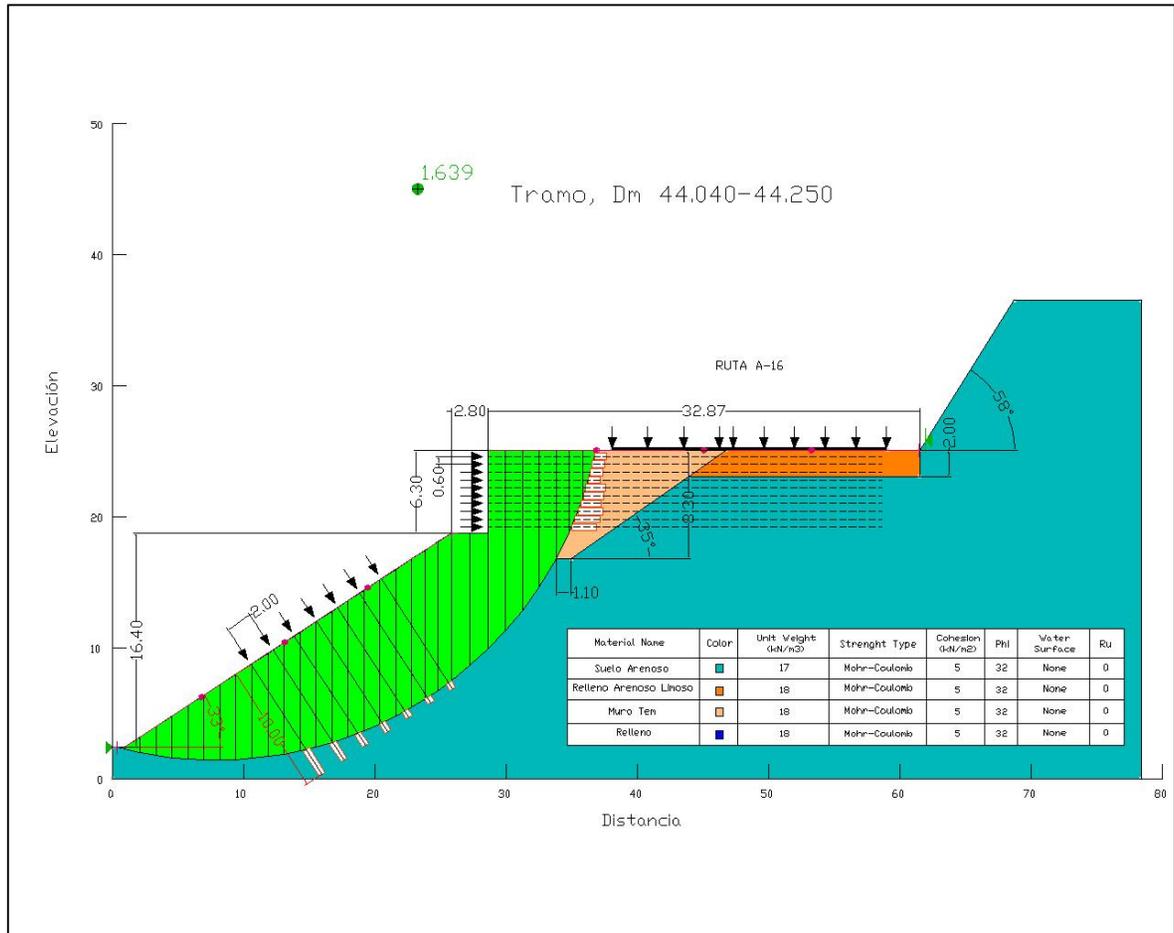
Análisis Estático con refuerzos Soil Nailing



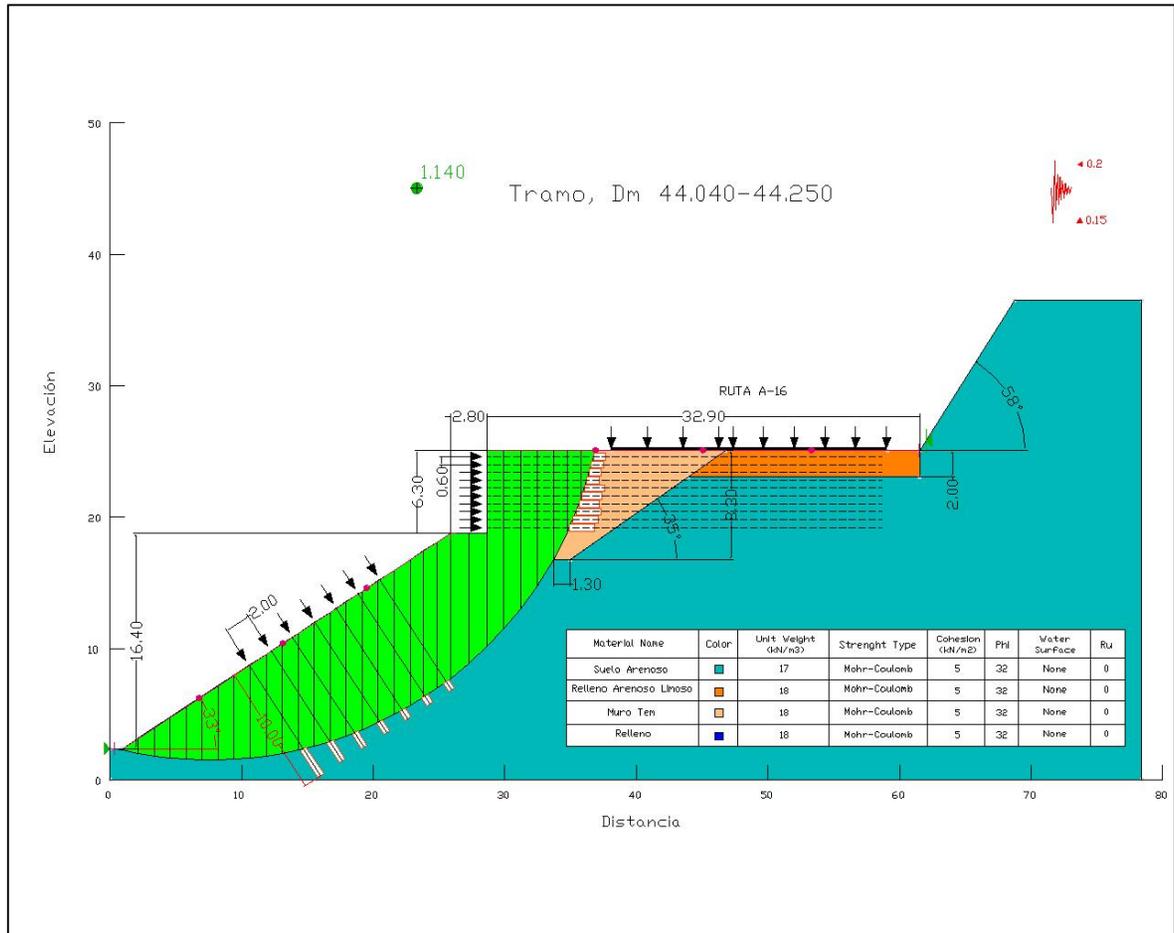
Análisis Pseudo - Estático con refuerzos Soil Nailing



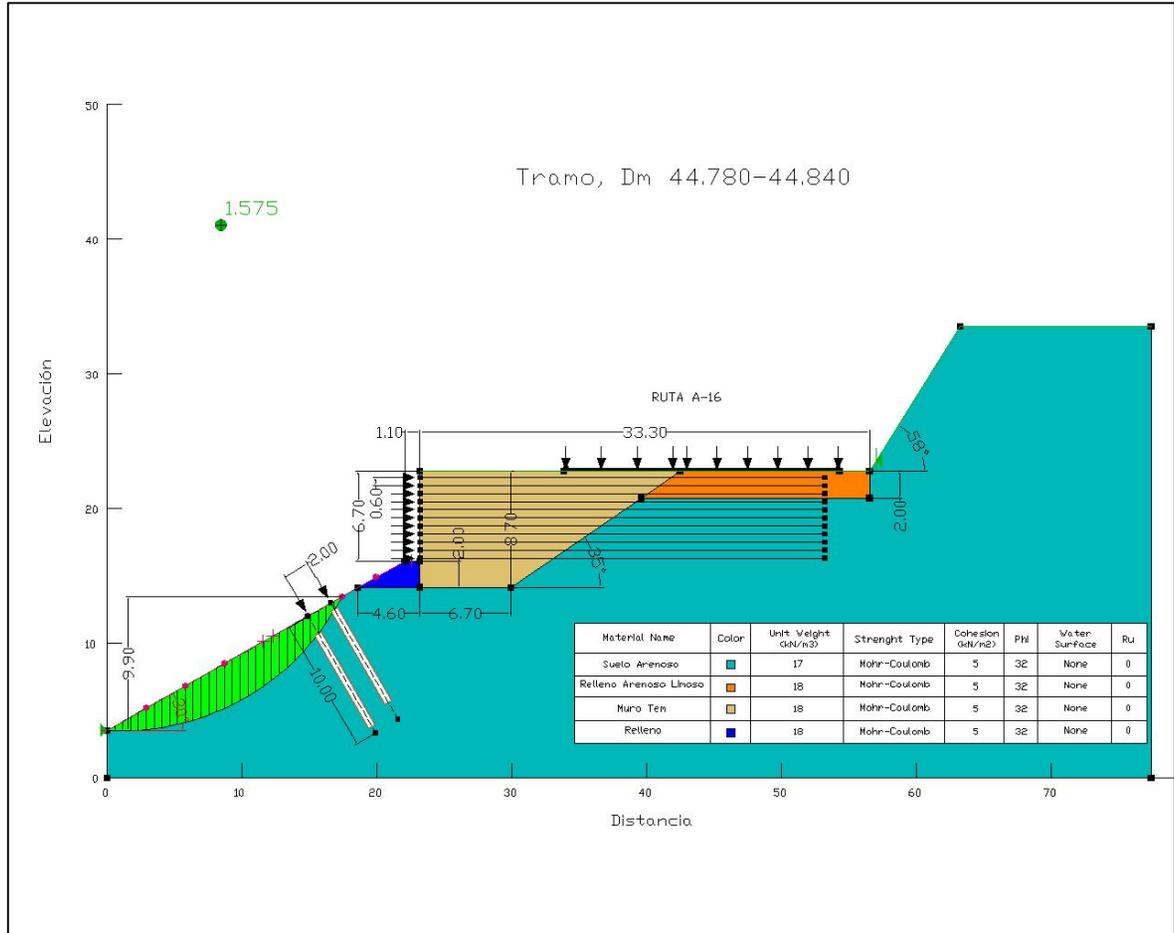
Análisis Global Estático con refuerzos Soil Nailing y Muro Mecánicamente Estabilizados



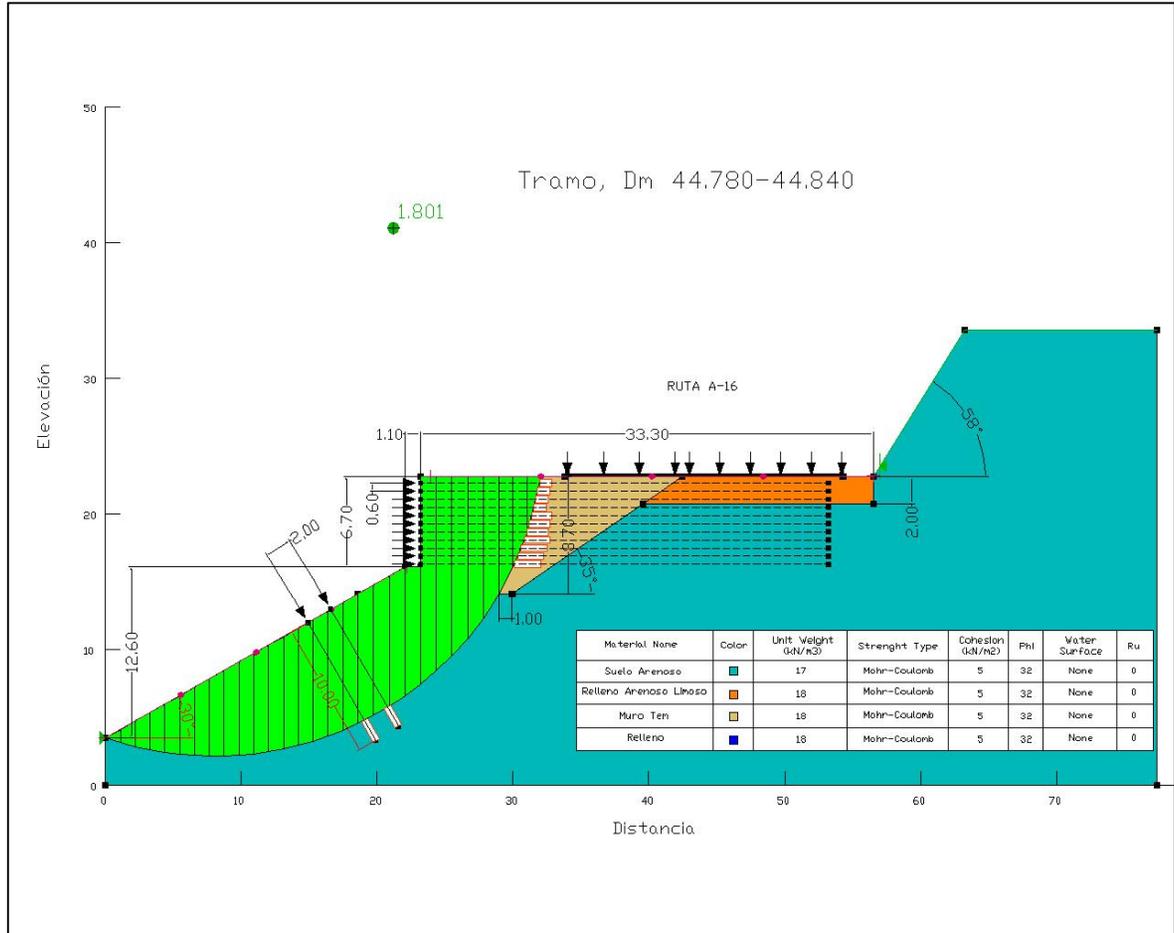
Análisis Global Pseudo - Estático con refuerzos Soil Nailing y Muro Mecánicamente Estabilizados



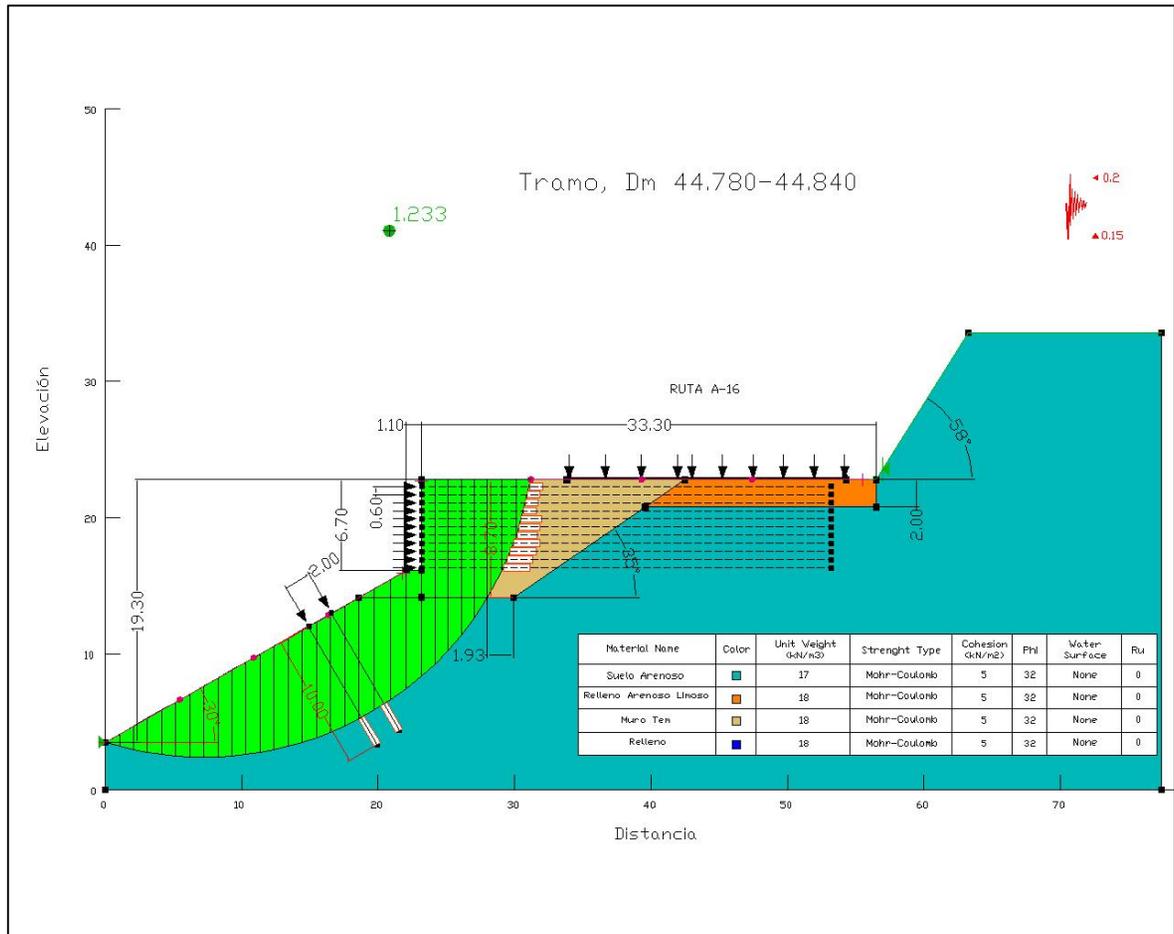
Análisis Estático con refuerzos Soil Nailing



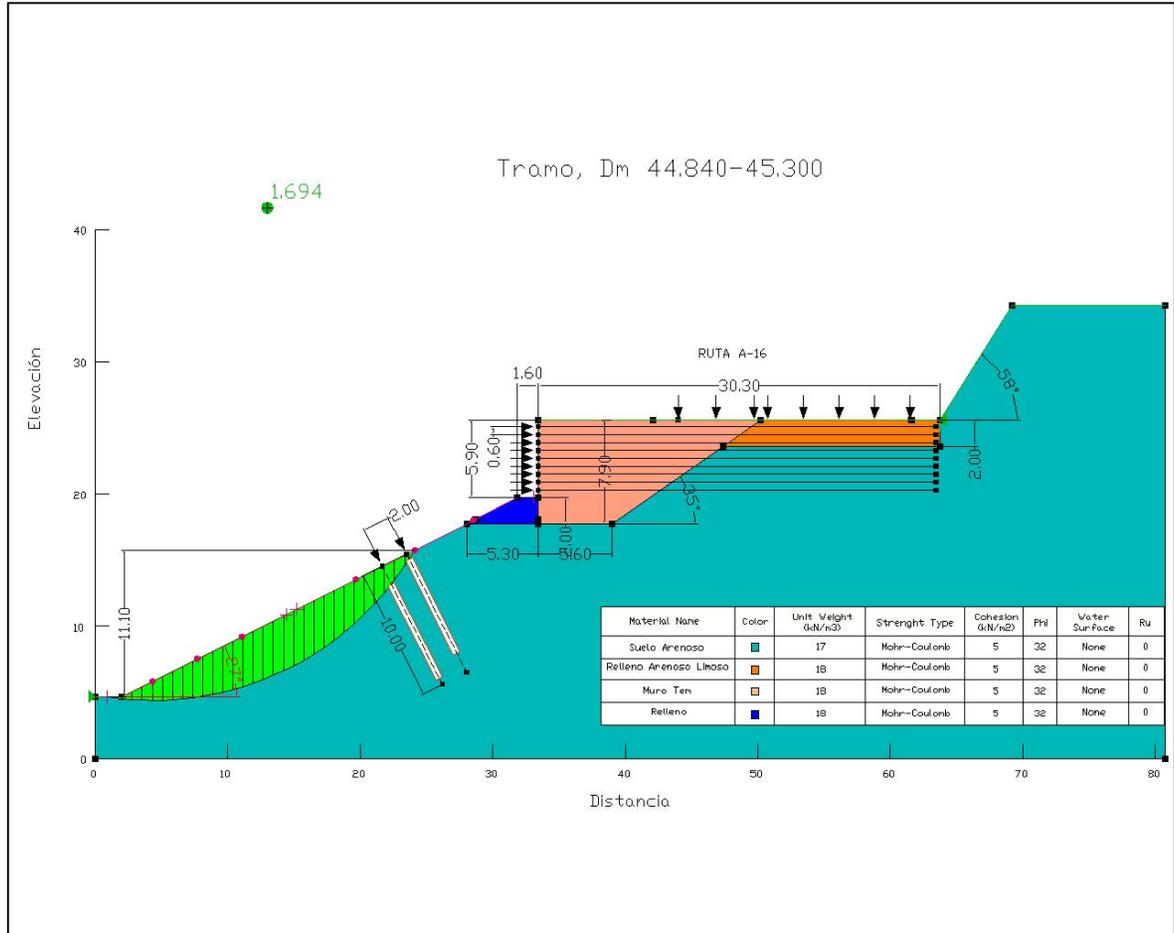
Análisis Global Estático con refuerzos Soil Nailing y Muro Mecánicamente Estabilizados



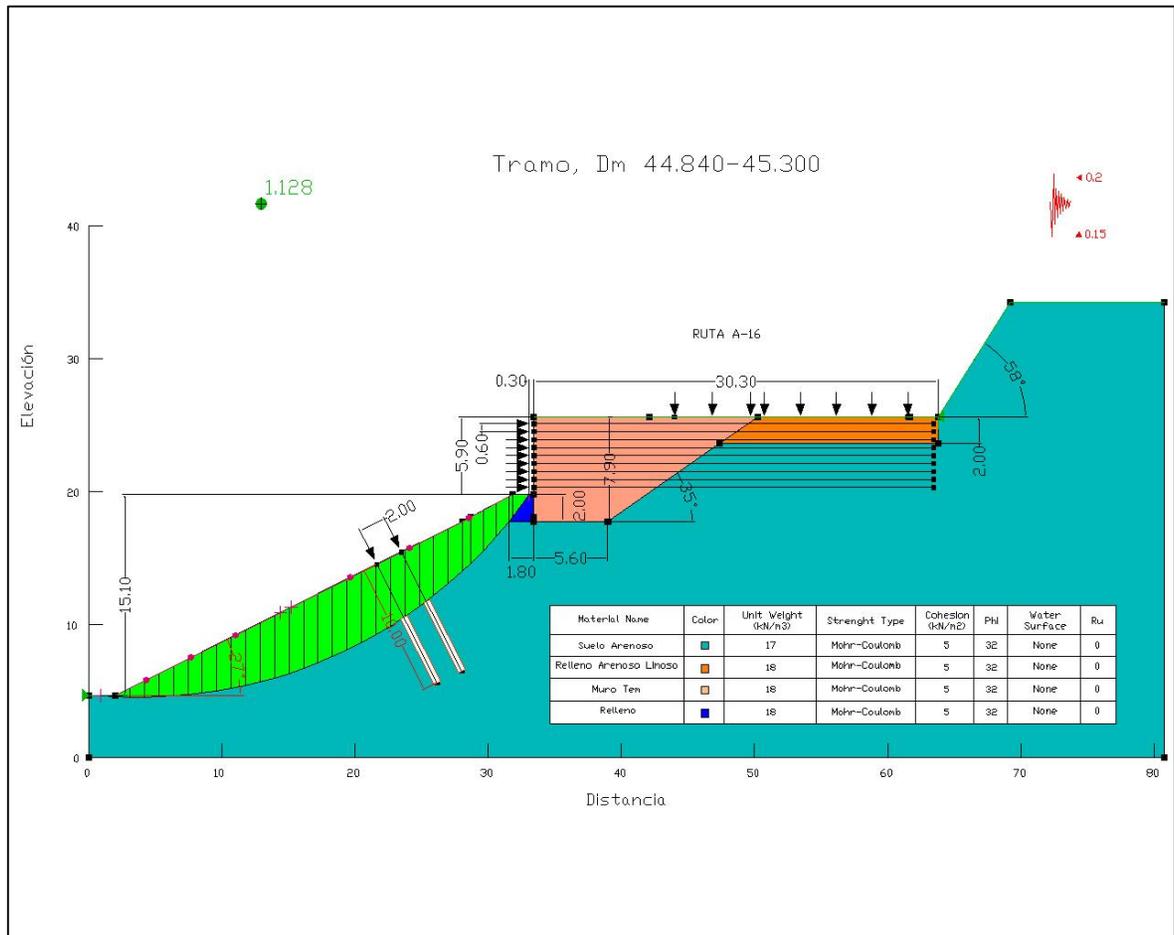
Análisis Global Pseudo - Estático con refuerzos Soil Nailing y Muro Mecánicamente Estabilizados



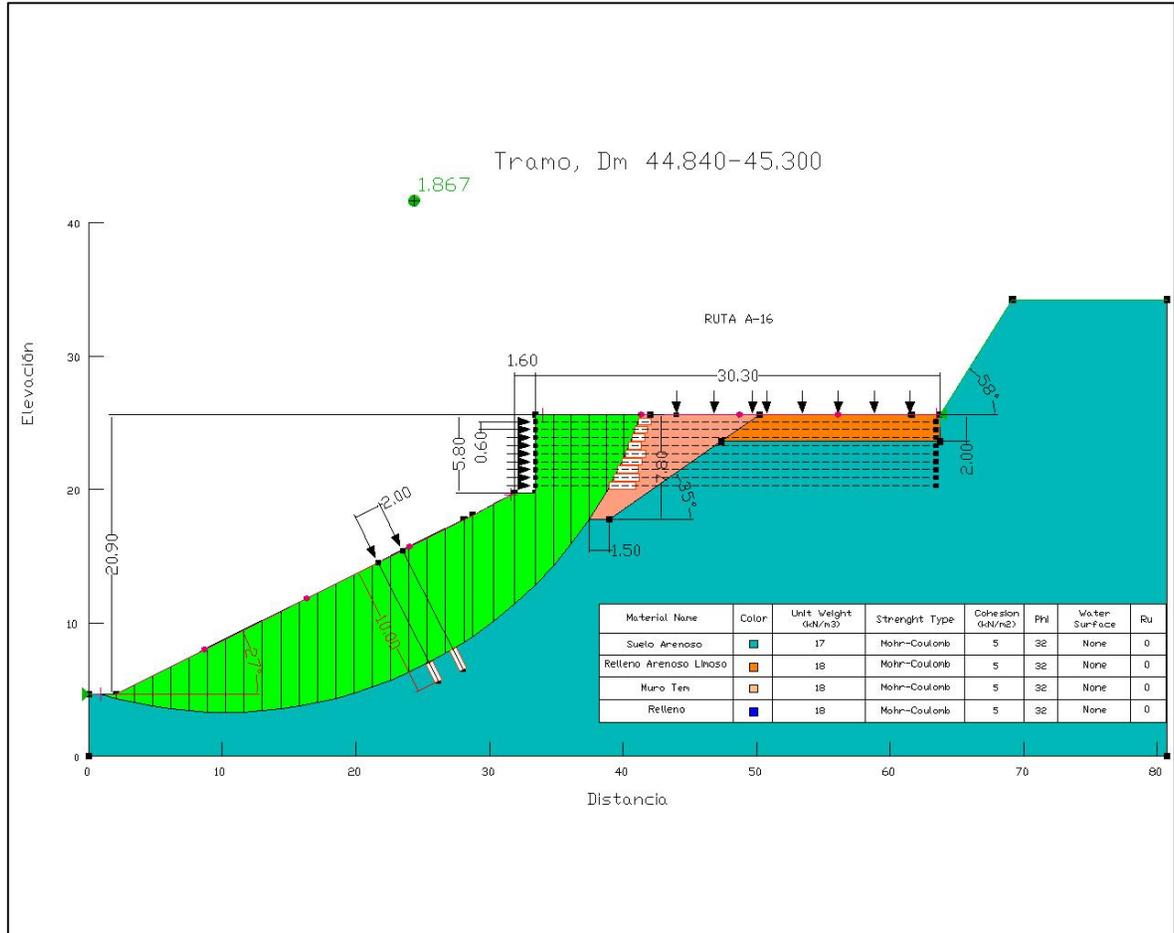
Análisis Estático con refuerzos Soil Nailing



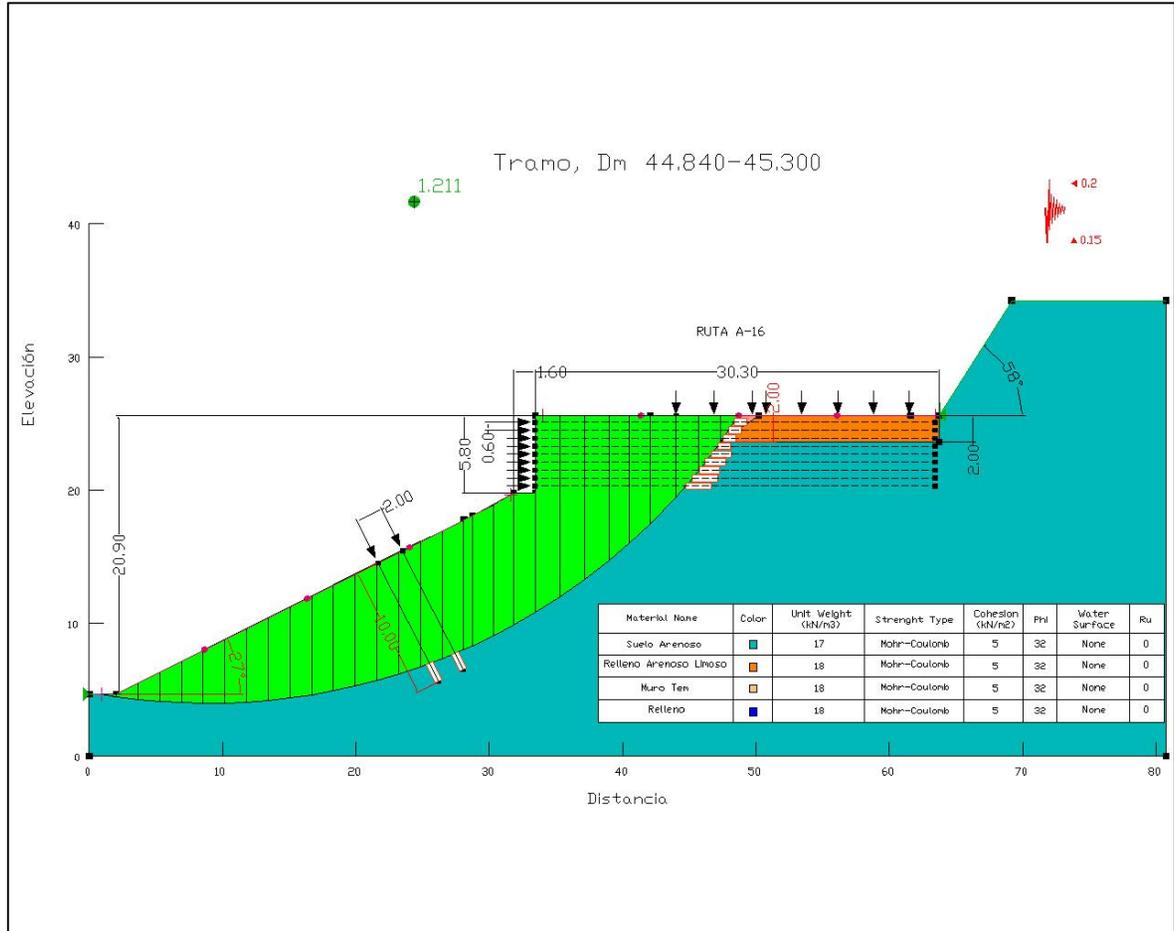
Análisis Pseudo - Estático con refuerzos Soil Nailing



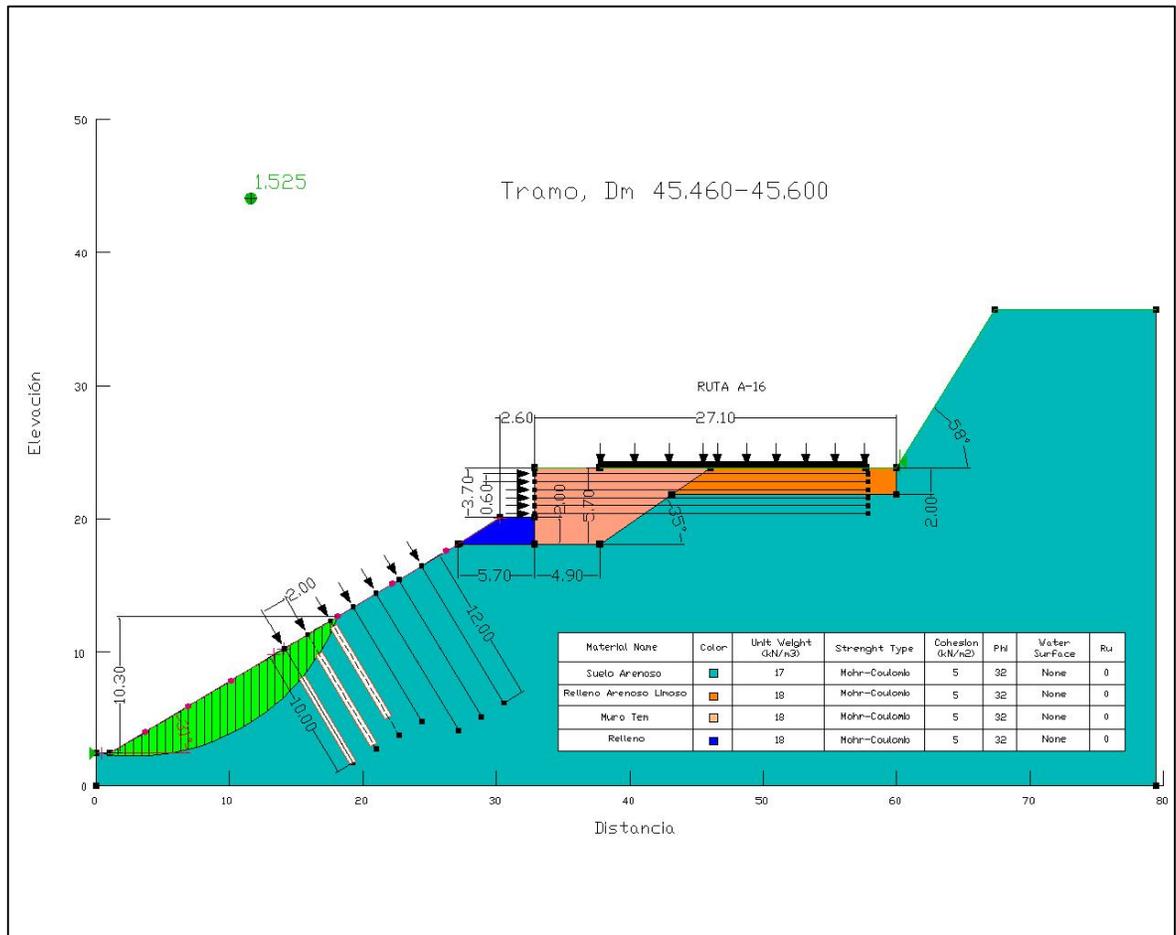
Análisis Global Estático con refuerzos Soil Nailing y Muro Mecánicamente Estabilizados



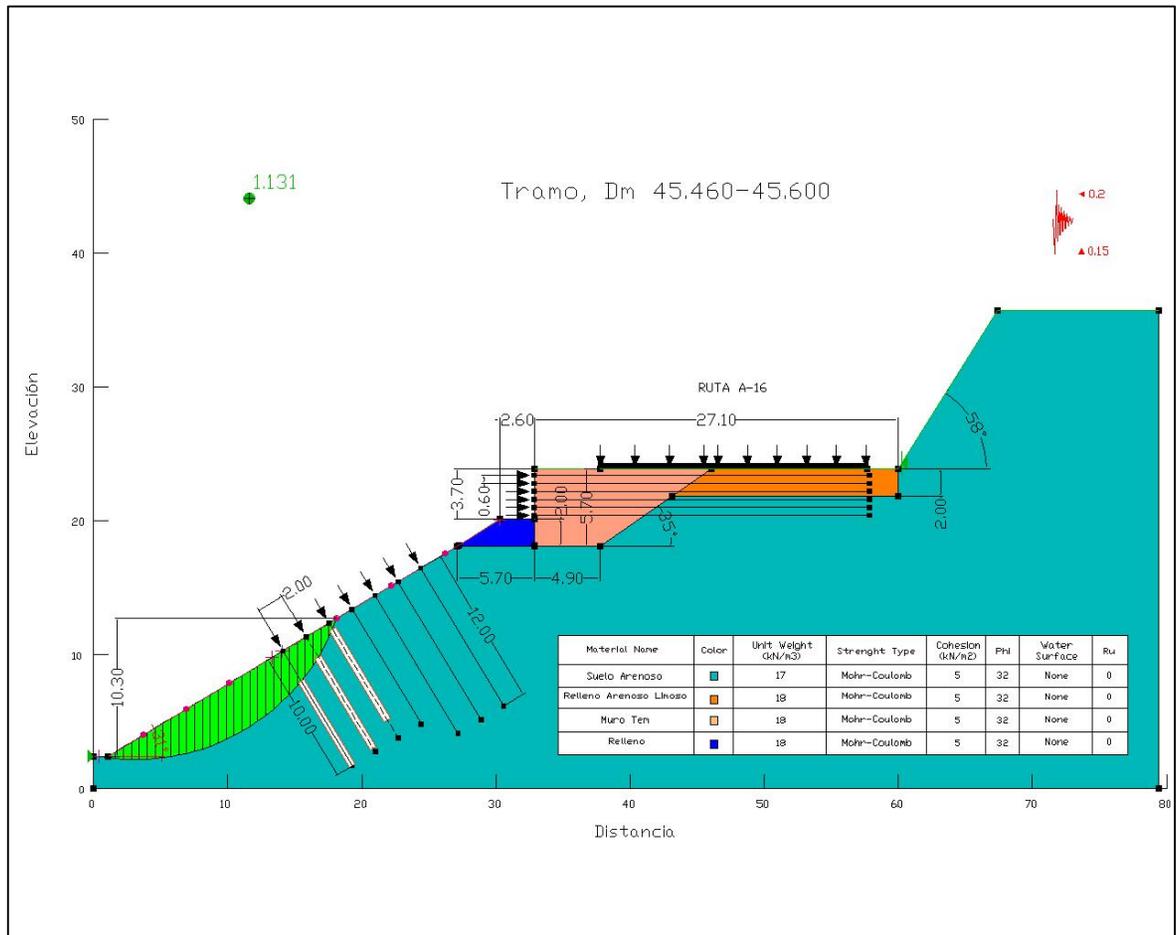
Análisis Global Pseudo - Estático con refuerzos Soil Nailing y Muro Mecánicamente Estabilizados



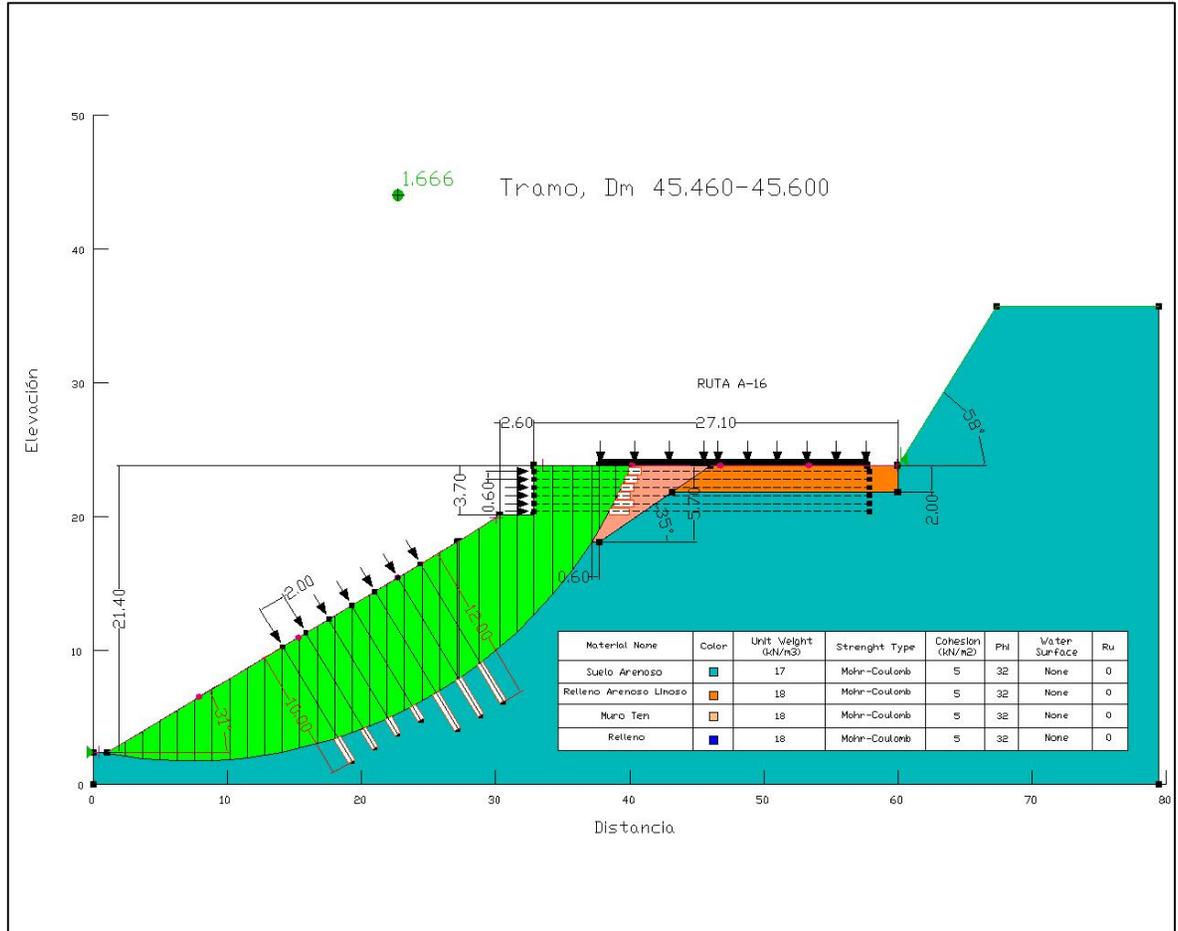
Análisis Estático con refuerzos Soil Nailing



Análisis Pseudo - Estático con refuerzos Soil Nailing



Análisis Global Estático con refuerzos Soil Nailing y Muro Mecánicamente Estabilizados



Análisis Global Pseudo - Estático con refuerzos Soil Nailing y Muro Mecánicamente Estabilizados

