UNIVERSIDAD PERUANA DE CIENCIAS APLICADAS

FACULTAD DE INGENIERÍA

PROGRAMA ACADÉMICO DE INGENIERÍA CIVIL

Optimización del grado de inclinación de taludes provisionales sin
sostenimiento en el Conglomerado de lima mediante la técnica de
retroanálisis basado en el método de Equilibrio Límite

TESIS

Para optar el título profesional de Ingeniero Civil

AUTOR

Osores Tumbalobos, Ana Belén (0000-0003-1405-8820)

ASESOR

Cárdenas Guillén, Jorge Luis (0000-0001-5420-1877)

Lima, 10 de Julio de 2020

DEDICATORIA

*A mis padres Daniel Osores Padilla y Luz Tumbalobos Avalos,
por todo lo que me han dado hoy y siempre durante cada día de mi vida,
a Dios por permitirme llegar aquí
y hacerme tan afortunada.*

AGRADECIMIENTOS

A mis padres, el ingeniero civil Daniel Osores y la administradora Luz Tumbalobos, ambos mi ejemplo a seguir de perseverancia y dedicación.

A mi Xavi por acompañarme tantas noches durante mi etapa universitaria y a mi sobrina Valentina por ser la luz de mi vida. A mis hermanos por estar siempre.

A mis amigos que me acompañaron tanto en la universidad como cuando realicé este trabajo de investigación, gracias por hacer los momentos difíciles más llevaderos. A aquellos que me apoyaron enseñándome un poco de lo que sabían.

A los profesionales que la vida me permitió conocer en momentos menos esperados, los cuales influenciaron en mi interés por esta carrera. A las empresas que me brindaron su apoyo sin ningún fin, que lo bueno sea devuelto por mucho más.

RESUMEN

La presente tesis de investigación fue elaborada con la finalidad de contribuir con el estudio de la construcción de rampas de acceso a excavaciones mediante el análisis de los taludes provisionales sin sostenimiento que garanticen la estabilidad global en el Conglomerado de Lima.

Las rampas de acceso son estructuras provisionales cuya construcción no se rige bajo normativas o indicaciones establecidas, además no contempla un estudio, se basa en la experiencia del responsable en obra. La ciudad de Lima se emplaza sobre un suelo gravoso el cual contribuye a que sea posible optimizar el grado de inclinación de los taludes provisionales.

El alcance de este trabajo consiste en modelar una rampa de acceso en el conglomerado típico de Lima aplicando las sobrecargas existentes de la maquinaria y realizar un análisis de estabilidad global frente a condiciones estáticas y pseudodinámicas. Mediante la técnica de retroanálisis basándose en el método de Equilibrio Límite en Slide se estimarán los parámetros de resistencia mínimos característicos de la grava de Lima, el parámetro de cohesión y ángulo de fricción. A partir de ello se procederá a la optimización de los taludes, evaluando los diferentes grados de inclinación, y se estimarán las deformaciones producidas en los taludes a través del programa Plaxis, basado en Elementos Finitos.

Finalmente se exponen las conclusiones obtenidas de la presente tesis de investigación, además de brindar recomendaciones para futuras investigaciones relacionadas a este tema.

Palabras clave: taludes provisionales; Conglomerado de Lima; rampas de acceso; estabilidad de taludes; equilibrio límite

Optimization of the inclination angle of unsupported provisional slopes in the Lima Conglomerate using a retroanalysis technique based on the limit equilibrium method

ABSTRACT

This research thesis was developed with the purpose of contributing to the study of the construction of access ramps to building's excavations by unsupported provisional slopes analysis to guarantee the global stability factor in the Lima Conglomerate.

The access ramps are provisional structures whose construction is not governed by norms or established indications, in addition it does not include a study, it is based on the experience of the person responsible for the work. The city of Lima is located on a gravelly ground which helps to optimize the degree of inclination of the provisional slopes.

The scope of this work is to model an access ramp in the typical conglomerate of Lima applying the existing machinery overloads and perform an analysis of global stability against static and pseudodynamic conditions. The minimum resistance parameters characteristic of the Lima gravel, the cohesion parameter and friction angle will be estimated using the retro-analysis technique based on the Limit Equilibrium method in Slide. From this, the slopes will be optimized, evaluating the different degrees of inclination, and the deformations produced in the slopes will be estimated through the Plaxis program, based on Finite Elements.

Finally, the conclusions obtained from this research thesis are presented, as well as providing recommendations for future research related to this topic.

Keywords: provisional slopes; Lima conglomerate; access ramps; slope stability; limit equilibrium

TABLA DE CONTENIDOS

INTRODUCCIÓN.....	11
1 GENERALIDADES	12
1.1 ANTECEDENTES	12
1.1.1 A nivel internacional	12
1.1.2 A nivel nacional.....	13
1.2 REALIDAD PROBLEMÁTICA	15
1.3 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	15
1.4 HIPÓTESIS	16
1.5 OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN	16
1.5.1 Objetivo general	16
1.5.2 Objetivos específicos	16
1.5.3 Indicador de logros	16
1.6 ESTADO DEL ARTE.....	17
1.7 ALCANCES Y LIMITACIONES	19
1.8 JUSTIFICACIÓN.....	20
2 EL CONGLOMERADO DE LIMA	22
2.1 GENERALIDADES	22
2.2 GEOLOGÍA DE LA ZONA.....	23
2.3 GEOMORFOLOGÍA DE LA ZONA	28
2.4 GEODINÁMICA INTERNA	30
2.5 PARÁMETROS GEOTÉCNICOS.....	34
2.6 CARACTERIZACIÓN DEL MATERIAL DE LA ZONA DE ANÁLISIS	35
2.6.1 Ensayos a gran escala recopilados.....	36
2.6.2 Estudios de mecánica de suelos.....	38
2.6.3 Ensayos Geodata	39
3 TALUDES PROVISIONALES DE RAMPAS DE ACCESO	43
3.1 GENERALIDADES	43
3.2 DEFINICIÓN DE TALUD	43
3.2.1 Talud natural.....	44
3.2.2 Talud artificial	44

3.3	DEFINICIÓN DE EXCAVACIÓN.....	45
3.3.1	Por su profundidad	45
3.3.2	Por su nivel de detalle.....	46
3.4	RAMPA DE ACCESO PARA LA ENTRADA Y SALIDA DE MAQUINARIA A OBRA	46
3.4.1	Ubicación.....	46
3.4.2	Ancho de la rampa.....	47
3.4.3	Inclinación del talud	48
3.4.4	Pendiente de la rampa.....	49
4	METODOLOGÍA DE ANÁLISIS DE TALUDES.....	50
4.1	GENERALIDADES	50
4.2	DEFINICIÓN DE ESTABILIDAD.....	50
4.3	FACTORES INFLUYENTES EN LA ESTABILIDAD	54
4.4	FACTOR DE SEGURIDAD	55
4.4.1	Recopilación de normativas.....	56
4.5	TÉCNICA DE RETROANÁLISIS.....	59
4.6	MÉTODO DE EQUILIBRIO LÍMITE	60
4.6.1.	Método de las dovelas o rebanadas	64
4.6.2.	Análisis pseudoestático	66
4.6.3.	Limitaciones de los Métodos de Equilibrio Límite	68
4.6.4.	Herramienta computacional de análisis Slide (Versión Estudiantil).....	68
4.7	MÉTODO DE MODELOS NUMÉRICOS	69
4.7.1.	Método de Elementos Finitos.....	70
4.7.2.	Ventajas y desventajas del método de los Elementos Finitos	73
4.7.3.	Herramienta computacional de análisis Plaxis (Versión Estudiantil)	73
5	DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN	75
5.1	GENERALIDADES	75
5.2	SITUACIÓN ACTUAL EN LA CIUDAD DE LIMA	75
5.3	ESTRATEGIA DE ANÁLISIS	80
5.4	RETROANÁLISIS.....	81
5.5	METODOLOGÍA DE ANÁLISIS.....	83
5.5.1	Parámetros de diseño	83
5.5.2	Modelación en Slide	85

5.5.3	Modelación en Plaxis	86
5.6	DISCUSIÓN DE RESULTADOS	90
6	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	92
6.1	CONCLUSIONES	92
6.2	RECOMENDACIONES	93
7	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	94
8	ANEXOS	99

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1	<i>Clasificación por granulometría para tamaños mayores de 3”</i>	27
Tabla 2	<i>Parámetros físicos y mecánicos del Conglomerado de Lima</i>	35
Tabla 3	<i>Recopilación de datos bibliográficos de ensayos de corte in situ en el Conglomerado de Lima</i>	36
Tabla 4	<i>Relación de ensayos de mecánica de suelos recopilados de los distritos de Surco, San Isidro y Miraflores</i>	38
Tabla 5	<i>Resumen de parámetros geomecánicos de los proyectos</i>	39
Tabla 6	<i>Resumen de módulos de deformación a partir de los ensayos presiométricos</i> ...	42
Tabla 7	<i>Ángulos del talud según la naturaleza del terreno</i>	48
Tabla 8	<i>Factores influyentes en la inestabilidad de los taludes</i>	54
Tabla 9	<i>Valores del factor de seguridad en diferentes documentos españoles de carácter geotécnico</i>	57
Tabla 10	<i>Resumen de normativas recopiladas para el factor de seguridad</i>	58
Tabla 11	<i>Métodos más utilizados basados en Equilibrio Límite</i>	63
Tabla 12	<i>Hipótesis de fuerzas entre rebanadas de distintos métodos de equilibrio límite</i>	65
Tabla 13	<i>Valores de coeficiente K_h para el análisis pseudodinámico del libro de Abramson y Zhang</i>	67
Tabla 14	<i>Métodos numéricos para la estabilidad de taludes</i>	69
Tabla 15	<i>Maquinaria común a utilizar en la obra de edificación</i>	81
Tabla 16	<i>Análisis retrospectivo para talud de 14.80 m inclinado 65°</i>	82
Tabla 17	<i>Resultados obtenidos del análisis de estabilidad del talud en Slide según ángulo de inclinación y profundidad</i>	86
Tabla 18	<i>Parámetros característicos utilizados en la modelación en Plaxis</i>	87
Tabla 19	<i>Resultados obtenidos de la modelación en Plaxis según ángulo de inclinación y profundidad</i>	90
Tabla 20	<i>Factor de seguridad en relación al ángulo de inclinación y profundidad</i>	91

ÍNDICE DE FIGURAS

<i>Figura 1. Mapa de suelos en la ciudad de Lima.</i>	23
<i>Figura 2. Mapa de unidades morfo-estructurales del Perú</i>	24
<i>Figura 3. Mapa de las condiciones geológicas de Lima</i>	26
<i>Figura 4. Mapa Geomorfológico de Lima.</i>	29
<i>Figura 5. Mapa sísmico del Perú. Periodo: 1960 – 2017.</i>	31
<i>Figura 6. Distribución de máximas intensidades sísmicas observadas en el Perú</i>	32
<i>Figura 7. Mapa de las zonas sísmicas del Perú</i>	33
<i>Figura 8. Ubicación de los proyectos recopilados</i>	36
<i>Figura 9. Perfil estratigráfico de los estudios de mecánica de suelos.</i>	39
<i>Figura 10. Descripción de un talud.</i>	44
<i>Figura 11. Ángulo del talud y ancho de la rampa</i>	47
<i>Figura 12. Falla de talud</i>	51
<i>Figura 13. Métodos de análisis de estabilidad de taludes</i>	53
<i>Figura 14. Fuerzas actuantes sobre la superficie de rotura en un talud.</i>	60
<i>Figura 15. Fuerzas consideradas en un mecanismo de rotura circular</i>	61
<i>Figura 16. División de un deslizamiento en rebanadas</i>	62
<i>Figura 17. Las fuerzas actuantes sobre una rebanada. XI, EI, XD y ED son las fuerzas horizontales en el lado izquierdo y lado derecho respectivamente. P, N, U y S son las fuerzas que actúan en la basa de la rebanada.</i>	64
<i>Figura 18. Esquema de fuerzas actuantes en una rebanada según método de Spencer y Morgenstern-Price.</i>	66
<i>Figura 19. Esquema del proceso de discretización mediante el método de elementos finitos</i>	71
<i>Figura 20. Descripción de los elementos del modelo matemático para el método de elementos finitos.</i>	72
<i>Figura 21. Tipos de dominios</i>	72
<i>Figura 22. Obra 1 ubicada en el conglomerado de Lima</i>	76
<i>Figura 23. Obra 2: Edificio en Augusto Tamayo 118 en San Isidro</i>	77
<i>Figura 24. Obra 3: Edificio More realizado en el distrito de Surco.</i>	77
<i>Figura 25. Edificio FASE DOS en Miraflores</i>	78
<i>Figura 26. Obra 3 realizada en distrito de San Isidro</i>	79
<i>Figura 27. Edificio Nuevo Mundo realizado en el distrito de Miraflores</i>	79

<i>Figura 28. Encuesta modelo</i>	80
<i>Figura 29. Modelamiento Retroanálisis Caso 1 Slide</i>	83
<i>Figura 30. Perfil estratigráfico característico del Conglomerado de Lima</i>	84
<i>Figura 31. Modelación en Slide de Sótano 4 con $\alpha_t 50^\circ$</i>	85
<i>Figura 32. Mallas de elementos finitos en el Sótano 4 en Plaxis</i>	87
<i>Figura 33. Desplazamientos totales en la modelación del Sótano 5 en Plaxis</i>	88
<i>Figura 34. Representación de la superficie de falla generada en el sótano 5 en Plaxis</i>	89
<i>Figura 35. Factor de seguridad obtenido en Plaxis para el Sótano 5</i>	89

INTRODUCCIÓN

Debido al incremento de la población en la ciudad de Lima en los últimos años, se ha convertido en el lugar de proyección de grandes edificaciones y de proyectos que resultan ser emblemáticos, tal como son las diferentes líneas del Metro de Lima, el Anillo Vial entre el Callao y la Vía Evitamiento, la Ampliación de la Vía Expresa, entre otras. Este desarrollo está acompañado de un crecimiento vertical de la ciudad, las edificaciones requieren de mayores espacios de estacionamientos vehiculares para aprovechar el terreno, para lo cual construyen mayor número de sótanos.

En las obras que contemplen la construcción de sótanos, la profundidad de excavación es mayor, por ello en la etapa de movimiento de tierras se tendrán rampas de acceso para la entrada y salida de maquinaria si es que las condiciones del terreno del proyecto lo permiten, tal como es el área y profundidad a alcanzar.

A pesar de que no representan estructuras permanentes, ya que generalmente la etapa de excavación dura de 1 a 3 meses en la totalidad de la obra, se debe garantizar estabilidad y seguridad para todos los implicados en la obra; además de aprovechar las características del suelo gravoso de Lima para su dimensionamiento. Por ello, resulta necesario un análisis de estabilidad de los taludes que puedan formarse durante la excavación.

Las rampas no siguen una normativa, no tienen dimensiones definidas ni ángulo de inclinación. En la práctica fluctúa optar por un talud 1 en 3 o 1 en 2, siendo el último valor la horizontal; y una pendiente de rampa que depende de la maquinaria a utilizar en campo.

La presente investigación tiene como objetivo optimizar mediante un análisis de estabilidad global los taludes provisionales sin sostenimiento de las rampas de acceso a obra considerando las sobrecargas requeridas y solicitaciones sísmicas esperadas para el Conglomerado de Lima. El diseño geotécnico de estos taludes permitirá tener como referencia ángulos de terraplenes que brinden los factores mínimos de seguridad para garantizar la estabilidad global de la masa del suelo.

Para tales fines se ha ubicado estudios de suelos realizados en el suelo característico de Lima, conocido como conglomerado, a partir de lo cual se tienen los parámetros geotécnicos del suelo que serán utilizados para un modelamiento geotécnico en Slide mediante Equilibrio Límite y en Plaxis mediante Elementos Finitos.

1 GENERALIDADES

1.1 Antecedentes

La identificación de las propiedades del Conglomerado de Lima resulta ser una necesidad para tener un enfoque global del comportamiento de los taludes provisionales como el de las rampas de acceso para maquinaria a obra. Cabe resaltar que un análisis no puede asegurar a totalidad la estabilidad de un talud, sin embargo, puede otorgar un rango de menor probabilidad.

De la revisión efectuada para la realización del presente trabajo se pudo rescatar lo siguiente:

1.1.1 A nivel internacional

SÁNCHEZ Sergio, RODRÍGUEZ José y Otros (2016). *Caracterización de suelos granulares gruesos. El caso de la Grava de Lima.* Esta investigación trata acerca del caso particular del material que se ubica en la ciudad más conocido como Conglomerado de Lima. El objetivo es la caracterización de este suelo gravoso a través de una gran recopilación de datos registrados en campañas geotécnicas y numerosos artículos y publicaciones realizadas de la ciudad. A partir de lo cual, se logra proponer nuevos parámetros de corte, una curva de degradación del módulo de corte (G) y que es posible estimar de manera aproximada el valor del módulo estático a partir de registros geofísicos.

MOSCOZO, Luis (2011). *Metodología para la ejecución y control de excavaciones en sótanos para edificios.* Este trabajo de graduación para obtener el título de ingeniero civil tiene como objetivo aportar información de la metodología sobre la ejecución y control de excavaciones en sótanos para edificios. Dentro de ello abarca el tema de rampa de salida y algunas consideraciones a tomar en cuenta para su construcción. Concluye que el conocimiento del proceso metodológico para la ejecución de cualquier proyecto de ingeniería civil, contribuirá a su culminación en los plazos dentro de los costos fijados e influirá a evitar la generación de costos innecesarios u ocultos fuera del alcance del proyecto.

DE LA HOZ, Karem (2007), *Estimación de los parámetros de resistencia al corte en suelos granulares gruesos.* Esta investigación para obtener el grado de maestro tiene como objetivo definir las características que un suelo debe cumplir para que sea factible utilizar el método de granulometrías paralelas en la determinación de sus parámetros de resistencia al corte, de no ser posible, propone metodologías alternativas. Se lleva a cabo

el estudio de los parámetros que influyen en la resistencia al corte de los suelos granulares y una recopilación de las diferentes metodologías utilizadas para ensayar muestras de suelos gruesos.

En esta tesis se resalta la importancia de evaluar los parámetros de resistencia de los suelos gruesos como es el caso de la grava de Santiago, puesto a que poseen excelentes propiedades mecánicas podrían generar importantes optimizaciones en diseños geotécnicos de excavaciones, túneles urbanos, embalses, entre otros.

1.1.2 A nivel nacional

COLL Jorge (2017), *Investigación geotécnica para la red del Metro de Lima*. En este artículo el autor sostiene que los estudios realizados hasta el momento para las líneas subterráneas de la ciudad son insuficientes y no totalmente representativos. Presenta dos planes de investigación para las gravas de Lima. Por un lado, el “Programa de Investigación Geotécnica Especial para las gravas”, el cual consiste en realizar ensayos adecuados para hallar las propiedades mecánicas de las gravas y tratar de buscar correlaciones entre estas propiedades y las propiedades índice, ya que resultan ser más económicas las últimas. Por otro lado, el “Programa de Investigación Geotécnica Masiva para las gravas” se enfocaría en obtener abundante data de las propiedades índice. Sostiene que, a partir de entonces, se contaría con una investigación geotécnica del conglomerado de Lima que permitiría diseñar estructuras subterráneas, tales como estaciones y túneles, de una manera más económica.

SHUAN Luisa E. (2011). En su tesis para optar el grado de Maestro titulada *Investigación de la Matriz en las Gravas del Perú, Modelo grava de Ventanilla* analiza un caso particular que es la influencia de la matriz en la grava de la ciudad de Lima, en especial del distrito de Ventanilla. Frente a la escasez de equipos de grandes dimensiones, se presenta el estudio de correlaciones para hallar parámetros geotécnicos a partir del ensayo de fracciones de menor tamaño.

A partir de la incorporación de tres muestras inalteradas de arenas procedentes de Madre de Dios, una muestra de limo proveniente de Collique y una muestra de arcilla de Chancay a la grava aluvial de la playa de Ventanilla, se determinaron los parámetros de resistencia. Se obtuvo que el ángulo de fricción disminuía conforme se aumentaba la matriz, mientras

que la cohesión era inversa al ángulo de fricción. Se hizo la recomendación de una mayor investigación de laboratorio en las gravas y una mayor implementación.

RAYGADA, Luis (2011). En su tesis *Análisis de estabilidad y deformaciones en el Acantilado de la Costa Verde* tiene como fin explicar el buen comportamiento de los acantilados de la Costa Verde mediante el análisis de estabilidad física de un sector de taludes ubicado en el distrito de Miraflores, acompañado de un análisis de las deformaciones provocadas por movimientos sísmicos. Se lleva a cabo un análisis estático y pseudoestático, de ser el caso una zona crítica se realizará el análisis complementario de esfuerzo deformación y el análisis de deformaciones permanentes respectivamente; además de un análisis dinámico para conocer las deformaciones. Como parte de las conclusiones de su estudio, explica las consideraciones tomadas durante la investigación e indica que el buen comportamiento del acantilado podría deberse a las sales marinas y a la existencia de una costra calcárea superficial.

URRUTIA, Pablo (2008). *Análisis Dinámico de Estabilidad por Elementos Finitos de los Taludes de la Costa Verde en el Distrito de Miraflores.* La tesis tiene objetivo evaluar dinámicamente la estabilidad de los taludes del distrito de Miraflores por el método de elementos finitos, es decir, realizar un análisis dinámico ya que resulta ser una necesidad porque la ciudad de Lima se encuentra en un área de alta actividad sísmica de la costa peruana. De esta manera, se podría llegar a un entendimiento general el comportamiento de los taludes durante y después de un sismo, a la vez de analizar la estabilidad de la estructura. De las conclusiones es importante resaltar que luego de los diferentes modelos analizados obtuvo que un modelo numérico no debe tomarse como irrefutable, debe utilizarse para interpretar mejor el comportamiento que sucede en la realidad.

PACHECO, Arturo (2006), *Estabilización del talud de la Costa Verde en la zona del distrito de San Isidro.* Plantea como objetivo analizar el problema de inestabilidad de taludes de la Costa Verde en un tramo de 500 metros en la zona del distrito de San Isidro. Lleva a cabo un análisis en condiciones estáticas como en dinámicas para presentar alternativas de solución y diseño de ingeniería. Utilizó el programa de computación SLOPE/W y el programa de análisis de caída de piedras CRSP.

A partir de los resultados obtenidos de dichos análisis, plantea como soluciones a tres tipos de muros de contención. La elección más adecuada será determinada a partir de los

parámetros técnicos y económicos, dando como solución utilizar los muros ASTM C915 (Crib Walls), muros de gravedad que estabilizan y controlan la erosión de taludes.

1.2 Realidad problemática

La ciudad de Lima ha experimentado en los últimos años una gran crecida de población, acompañada de un crecimiento vertical de las edificaciones, por lo que se contemplan mayores profundidades de excavación.

Las rampas de acceso que permiten la circulación de entrada y salida de la maquinaria utilizada en obra no siguen una normativa ni toman en consideración recomendaciones de alguna entidad que sean de conocimiento general, tal como si sucede en otros países.

Cabe mencionar que la responsabilidad del proceso constructivo de esta rampa no está identificada, generalmente es la empresa de movimiento de tierras la encargada de elaborarla, sin embargo, es posible que el ingeniero residente sea el que tenga la decisión final de las dimensiones y ubicación de esta. Basan sus decisiones en el conocimiento adquirido en obras pasadas o según lo permita la obra, por ejemplo, que no se vea afectado el avance de esta, como es la construcción de muros anclados de sótanos.

La pendiente mínima de la rampa dependerá de la máquina que se utilice en la obra, puesto a que de acuerdo al tamaño de la maquinaria y el número de ejes que tiene, se va dificultando la pendiente para circular. Con respecto a los taludes de la rampa, se suele utilizar un talud de 1 en 2 pero no se realiza un análisis que verifique su estabilidad. Podría llegar a ser conservador este valor, incurriendo a gastos innecesarios de espacio y costo, además de no reconocer las buenas características que presenta el Conglomerado de Lima.

A pesar de ser el área de futuros grandes proyectos, la realidad es que existe una escasa investigación acerca de este material gravoso. Es usual optar por datos bibliográficos disponibles acerca de los parámetros, sin embargo, estos descartan una posible optimización del diseño geotécnico de obras (De La Hoz, 2007). La información existente termina resultando ser repetitiva.

1.3 Formulación del problema

La falta de normatividad o reglamento que regule la construcción de las rampas de acceso junto a la carencia de investigación representativa del Conglomerado de Lima no permite realizar un diseño geotécnico que optimice el grado de inclinación de los taludes provisionales.

1.4 Hipótesis

Mediante la técnica de retroanálisis utilizando el método de equilibrio límite será posible optimizar el grado de inclinación de taludes provisionales sin sostenimiento de una rampa de acceso que garantice la estabilidad global.

1.5 Objetivos de la investigación

1.5.1 Objetivo general

La presente tesis tiene como objetivo principal optimizar el grado de inclinación de taludes provisionales sin sostenimiento que garantice la estabilidad global frente condiciones estáticas y pseudodinámicas en el Conglomerado de Lima, mediante la técnica de retroanálisis utilizando el método de equilibrio límite.

1.5.2 Objetivos específicos

De acuerdo con el desarrollo de esta tesis, se abordarán los siguientes objetivos específicos:

- Describir los parámetros característicos del Conglomerado de Lima
- Establecer las especificaciones para las características geométricas de las rampas de acceso
- Conocer las sobrecargas actuantes sobre el talud de los equipos usados en la excavación de sótanos
- Estimar el parámetro de cohesión y ángulo de fricción para el Conglomerado característico de Lima realizando la técnica de Retroanálisis mediante el uso del software Slide
- Determinar el ángulo óptimo de inclinación de los taludes que garantice la estabilidad física frente a condiciones estáticas y pseudodinámicas
- Comparar las deformaciones de los taludes provisionales de diferentes grados de inclinación mediante el uso del software Plaxis

1.5.3 Indicador de logros

- Definición del perfil típico del Conglomerado de Lima que utilizaremos para la estabilidad
- Esfuerzos transmitidos por los equipos usados típicamente
- Validación de los parámetros hallados con la técnica de retroanálisis con los datos reales de ensayos realizados
- Tabla de valores de ángulo de inclinación del talud versus el factor de seguridad

- Rango de deformaciones obtenidas generadas en el talud de la rampa

1.6 Estado del Arte

La estabilidad de un talud, ya sea temporal o permanente, es de gran importancia en cualquier proyecto u obra de edificación con el fin de evitar cualquier tipo de incidente o desastre durante el proyecto, además de optimizar los recursos y espacio.

A partir de la investigación, en la búsqueda de información de obras donde se haya contemplado la construcción de estas rampas, los ingenieros de campo y/o los encargados de movimiento de tierras de estas obras afirmaban, en la totalidad, que estas rampas se realizaban sin ninguna medida a cumplir, tan solo en base a la experiencia y a que la pendiente de ella permita la entrada y salida de los vehículos con normalidad.

En 1976, se publicó en España la Norma Técnica de Edificación de Acondicionamiento del Terreno. Desmontes. Vaciados (NTE-ADV), la cual daba recomendaciones técnicas para la rampa de movimiento de camiones y/o máquinas tal como el ancho mínimo, pendiente y el talud lateral.

Luego de ello, son casi nulos los artículos o investigaciones que hacen referencia a estas rampas de acceso a obra hasta la tesis del Ing. Luis Roberto Moscozo (2011) en Guatemala, hace mención a las rampas dado que su tesis es acerca de la Metodología para la ejecución y control de excavaciones en sótanos para edificios. Nombra algunas consideraciones que han de tenerse en cuenta para estas estructuras provisionales.

La Guía Técnica para la Evaluación y Prevención de los riesgos relativos a Obras de Construcción del Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo (España) en 2012 da una nueva referencia para la vía de vehículos para obra con respecto a la anchura que tendrá, además de la estabilidad que debe asegurar y en caso sea una vía para peatones, indica un ancho recomendado adicional.

En la actualidad, la Asociación Chilena de Seguridad, organización privada sin fines de lucro, publicó entre sus múltiples fichas del Sector de Construcción la denominada “Control de Riesgos en Excavaciones” la cual indica otro ancho útil que debe tener estas rampas y la señalización que debería considerar.

En el Perú no hay una normativa que rijan la construcción de estas, a diferencia del Reglamento de Edificaciones que sí norma criterios y requisitos mínimos para la ejecución de habilitaciones urbanas o edificaciones en otros procesos. Cabe resaltar que

tampoco se cuentan con investigaciones o artículos de recomendación emitidos por ingenieros orientados a estas rampas. Tal como se nombró en el apartado Antecedentes, las investigaciones están orientadas hacia el estudio del Conglomerado de Lima o en específico el Acantilado de la Costa Verde.

Con respecto a las metodologías que se pueden utilizar para el análisis de estabilidad de taludes, escoger una depende del objetivo y los resultados que se buscan obtener. Es importante tomar en cuenta que los programas más completos pueden llegar a ser más complejos. El desarrollo de las técnicas computacionales ha permitido la mejora de los métodos de modelación y de esta manera, obtener resultados más cercanos al comportamiento de los materiales. La modelación matemática de los taludes permite analizar la condición de estabilidad y la funcionabilidad de diseño de un talud.

A principios del siglo XX, el análisis de un talud aún era limitado a normas netamente empíricas. El concepto de superficie de deslizamiento plana fue planteado por Coulomb en 1776, en el estudio de estabilidad de taludes; mientras que la idea de superficie curva fue iniciada por Collin en 1845. A partir de ello, aparecieron otras ideas de mecanismos de falla como la planteada por Fellenius en 1927, el cual proponía a una superficie de falla real como cilíndrica (Azorin, 2014).

De manera general, para estudiar la estabilidad de los taludes se puede nombrar el empleo de teorías simplificadas como el Método de Equilibrio Límite o también de técnicas más precisas como son los Métodos Numéricos.

Con respecto a los Métodos de Equilibrio Límite (MEL), se han desarrollado diversos métodos a partir del primer método de análisis realizado por Fellenius en 1936 conocido como el método de las dovelas. El cual consistía en dividir a la masa de tierra, considerada como superficie de falla, y analizar el equilibrio como un todo. A partir de este método, aparecieron muchos otros como el de Taylor (1937), Bishop (1955), Bishop simplificado (1956), Janbu (1954), Bishop y Morgenstern (1960) y Spencer (1967). La diferencia entre ellos son las hipótesis que se consideran para el desarrollo del análisis y las características del suelo. Sin embargo, conforme se iban realizando más hipótesis se tenía mayor cantidad de incógnitas, de manera que el cálculo de estas se complicaba. Es así como en la década de los 70 aparece el uso de computadoras para facilitar notablemente la resolución de los trabajos laboriosos a través de programas. Se desarrollan múltiples métodos como el de Sarma (1973) y Hassan (1999).

La delimitación de los Métodos de Equilibrio Límite al no considerar las deformaciones que se generaban, conllevó a que se utilizaran los modelos numéricos. Dentro de los cuales aparece el Método de Elementos Finitos introducido en 1967 por Clough y Woodward, a partir de lo cual se ha ido desarrollando. En la actualidad, es el modelo más versátil para el análisis de estabilidad de taludes y a la vez, el más utilizado.

A partir de la década del 2000, se fueron incorporando mayor cantidad de programas basados tanto en equilibrio límite como en métodos numéricos con el objetivo de eliminar las limitaciones que presentaban los métodos y poder analizar casos más complejos. Entre ellos se encuentran el software Slide y Plaxis.

La presente investigación analiza la estabilidad del talud provisional de una rampa de acceso, para lo cual recurre a la metodología computacional mediante el uso de los softwares Slide y Plaxis, basados en Equilibrio Límite y Elementos Finitos respectivamente. La elección de ambos programas fue de acuerdo a los objetivos que se tenían, hallar el factor de seguridad y estimar las deformaciones originadas luego de la aplicación de las cargas en el suelo.

1.7 Alcances y limitaciones

La presente tesis se desarrolla específicamente en obras de excavación ubicadas en el Conglomerado de Lima tal como los distritos de San Isidro, Miraflores y Surco. Los taludes de las rampas de acceso son de carácter provisional puesto a que su duración será hasta que se concluya el proceso de desplazamiento de vehículos en obra o hasta que la profundidad del terreno lo permita. Para el análisis geotécnico se utilizó el programa Slide, basado en Equilibrio Límite, optando por el Método de Morgenstern-Price, y el programa Plaxis basado en Elementos Finitos. Finalmente, los factores de seguridad aceptables para definir la estabilidad global son 1.3 para el caso estático y 1.1 para el caso pseudodinámico.

Se da inicio a la investigación con una Introducción y el capítulo 1 GENERALIDADES en el cual se presentan los antecedentes, realidad problemática, formulación del problema e hipótesis. Asimismo, se define el objetivo general y los objetivos específicos. Se presenta el Estado del Arte y la importancia de esta investigación.

El capítulo 2 corresponde a EL CONGLOMERADO DE LIMA en el cual se describe la geología, geomorfología y geodinámica interna de la zona, junto a la caracterización de

los parámetros geotécnicos del suelo gravoso de la ciudad, donde se localiza nuestra investigación. Se detallan los parámetros del Conglomerado de Lima que serán utilizados para el caso aplicativo. Se llevó a cabo a partir de una recopilación de estudios y ensayos realizados en la ciudad.

El capítulo 3 corresponde a TALUDES PROVISIONALES donde se define los términos de talud y excavación. Además, se mencionan recomendaciones para la construcción de estas rampas de acceso provisional a obra según diferentes guías.

El capítulo 4 corresponde a ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DE TALUDES en este capítulo se define la estabilidad de un talud y los factos influyentes en ella, el factor de seguridad junto a una recopilación de normativas, la técnica de retroanálisis y la metodología de análisis: Equilibrio Límite y Elementos Finitos. Asimismo, según los métodos se hace una breve descripción de los programas computacionales a utilizar.

El capítulo 5 corresponde al DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN donde se aplica lo desarrollado en los capítulos anteriores. Se presentan los datos a utilizar junto a las consideraciones asumidas para la presente investigación. Se desarrolla el procedimiento y resultados obtenidos luego del Retroanálisis en el programa Slide, la optimización del talud y las deformaciones halladas a partir de ello en Plaxis.

Para concluir, en el capítulo 6, se dan las CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES del trabajo de investigación realizado.

1.8 Justificación

Hasta la actualidad, las investigaciones desarrolladas a temas asociados a la estabilidad de los taludes provisionales para las rampas de acceso son pocas o casi nulas a nivel nacional. Es de suma importancia realizar un análisis de estabilidad debido a que en caso colapse la estructura pondría en riesgo a la obra, equipos y personas involucradas.

Sin embargo, con respecto al Conglomerado de Lima, se puede afirmar que ha ido creciendo el desarrollo de investigación de este particular tipo de suelo. En su mayoría los investigadores se enfocan en el análisis de los taludes del Acantilado de la Costa Verde, que cubre diversos distritos de la ciudad, o en la influencia de ensayar la matriz del suelo como muestra representativa. No obstante, sigue siendo insuficiente y es una necesidad contribuir al estudio de este suelo gravoso, ya que en la ciudad de Lima se

proyectan múltiples proyectos que requerirán de un conocimiento más profundo de los parámetros geotécnicos de las gravas de Lima.

La importancia de la presente investigación recae en que busca contribuir ante este problema presente en las obras a realizar en la ciudad de Lima. Los resultados obtenidos podrán ser un documento de referencia en obras de excavaciones para aquellos que se dedican a la construcción o supervisión del rubro. Podría proveer como herramienta para aquellos inspectores, evaluadores o revisores que tengan que realizar un control de la obra.

A su vez, abarca la investigación geotécnica del Conglomerado de Lima mediante la recopilación de los ensayos in situ realizados por la ciudad que sirven para su caracterización. Resaltando la importancia de identificación del terreno, puesto a que es la base para la toma de decisiones en el área de trabajo.

El alcance social o proyección de esta tesis es de manera indirecta, como parte de la obra en general, con una buena caracterización del suelo y optimización, los taludes proporcionaran a los que transiten por ellos, una mayor seguridad y protección durante el periodo sean utilizados.

Finalmente, el tema resulta ser atractivo debido a que presenta dos situaciones que se deben de afrontar para generar soluciones cada vez más prácticas y que reduzcan el tiempo de ejecución de obras: el gasto innecesario en una obra, y el desconocimiento de la buena grava característica del suelo de Lima.

2 EL CONGLOMERADO DE LIMA

2.1 Generalidades

La ciudad de Lima se encuentra emplazada sobre un depósito fluvio-aluvial, de morfología plana, ubicado entre la Cordillera de los Andes y la costa del Océano del Pacífico. El origen de este depósito de material corresponde a la coalescencia de los conos de deyección de los Ríos Rímac y Chillón, ambos de edad Cuaternaria, extendido sobre rocas sedimentarias del Jurásico Superior-Cretácico Inferior y rocas intrusivas del Batolito Andino. Se extiende hasta llegar al valle del río Lurín por el Sur, y el valle del río Chillón por el Norte. Es conocido mayormente como el Conglomerado de Lima (Sánchez et al., 2017).

El abanico aluvial de Lima está ligado a la evolución de los ríos Rímac y Chillón, cuyos cauces se desarrollaban en una posición diferente a la actual, la cual está siendo influenciada por el Anticlinal de Lima.

El suelo se caracteriza por ser heterogéneo, errático y discontinuo; dentro de la gran masa de conglomerado de gravas pobremente gradadas se han formado lentes de diferentes tamaños de arenas, limos y arcillas. Se encuentra desde suelto a compacto (Martínez, 2007). En su mayoría, está compuesto por materiales gruesos, tal y como se puede observar en la Figura 1.

Los materiales que lo componen son altamente resistentes y tienen poca capacidad de deformación, sin embargo, puede presentarse problemas si se realiza alguna obra de excavación o en los acantilados, debido a que la información disponible puede ser subestimada o muy generalizada.

En este capítulo se describirán las características geológicas, geotécnicas y geomorfológicas del conglomerado de Lima. Se ha realizado una revisión de la información existente en la literatura y se han recopilado investigaciones acerca del suelo gravoso característico a lo largo de la ciudad.

Figura 1. Mapa de suelos en la ciudad de Lima.

Fuente: Centro Peruano Japonés de Investigaciones Sísmicas y Mitigación de Desastres (CISMID, 2012)

Es importante tomar en consideración estas características, ya que Lima será lugar para gran cantidad de obras proyectadas a ejecutar en los próximos años.

2.2 Geología de la zona

La ciudad de Lima se encuentra ubicada entre la unidad morfoestructural de la Llanura Preandina y la Cordillera Occidental, tal como se puede observar en la Figura 2. Por un lado, la primera está conformada por terrazas marinas, depósitos aluviales y acumulaciones eólicas sobre rocas volcano-sedimentarias de edad cretácica, intrusivos del batolito de la Costa y secuencias marinas y continentales del Paleógeno-Neógeno. La Cordillera Occidental está constituida por sedimentos mesozoicos sobre un basamento

paleozoico, prolongación del batolito de la Costa, el batolito de la Cordillera Blanca y por secuencias volcano-sedimentarias y volcánicas del Cenozoico.

Figura 2. Mapa de unidades morfo-estructurales del Perú

Fuente: Instituto Geológico Minero y Metalúrgico (INGEMMET, 1999)

El área a estudiar evidencia los acontecimientos más importantes de la orogenia andina en el país, la cual está ligada a la evolución del geosinclinal andino. Durante la era Mesozoica, formaba parte del geosinclinal que era un fondo marino que acogía gran cantidad de gruesas capas de sedimentos y emisiones volcánicas submarinas. A finales del Cretácico, se dio inicio a la orogenia andina que permitió la elevación de los

volúmenes volcánicos sedimentarios mesozoicos. Al mismo tiempo se fue dando la intrusión del Batolito Costanero hasta el periodo del Terciario.

La cuenca de los ríos se asentaba en rocas ígneas y sedimentarias correspondientes al Jurásico y Cretáceo Inferior. Se da intensas actividades volcánicas con levantamientos y hundimientos del nivel del mar, dando a lugar la formación de Santa Rosa, Ventanilla, entre otros. También se originó la formación de Marcavilca, Pamplona y Atocongo en un ambiente de mar profundo.

En el Cretáceo superior, se inicia el levantamiento de la Cordillera Occidental de los Andes con una intensa actividad magmática y volcánica. Esto ocasionó la formación de los valles de Lurín, Rímac y Chillón. A finales del Terciario, emergen las áreas continentales que constituirán los primitivos de suelos. Se produce la denudación de cordilleras de la región y se forman los valles profundos del río Rímac y Chillón, intercalándose en forma de abanicos aluviales bajo la ciudad formando una gran secuencia aluvial denominada “Conglomerado de Lima”.

En el Periodo Cuaternario, se da comienzo al retiro de los mares, a una erosión activa por parte de los ríos (sedimentos de origen fluvial) y a la acumulación del depósito de materiales en forma de abanico aluvial.

De esta forma, el cono de deyección de Lima es el resultado de un tectonismo horizontal y vertical que se aprecia en la elevación de la zona Andina y en la cuenca de la ciudad. Se presentó un proceso endógeno, con diferentes ciclos de sedimentación, erosión y transporte; y procesos exógenos.

El conglomerado es el que predomina en el centro de Lima, donde puede intercalarse con arenas medias a finas, limos y arcillas. Las zonas marginales y de contacto con el norte, sur y este poseen materiales provenientes de depósitos coluviales, aluviales y eólicos. La zona que abarca el Callao, La Punta, la Molina, Barranco y Chorrillos tiene la presencia de suelos finos. Con respecto al Norte y el Sur de Lima provendrá de arenas eólicas y marinas de la costa. Finalmente, en los acantilados se encontrará depósito de rellenos (Alva, Meneses, Martínez, & Huamán, 1991).

En la Figura 3 se puede observar la geología de Lima en mapa simplificado presentado por Martínez Vargas en 1986. En la cual se observa la mayor parte de depósitos aluviales a lo largo de la ciudad de Lima.

Figura 3. Mapa de las condiciones geológicas de Lima

Fuente: Martínez Vargas (1986)

El suelo granular grueso de Lima no cuenta con muchos estudios debidamente realizados en nuestro medio, los sistemas de clasificación normalmente usados en el Perú solo consideran la granulometría de los suelos a tamaños menores de 3". De esta manera, se asume y ensaya a la matriz de finos, sin realizar ninguna corrección por la fracción gruesa.

La ingeniera Shuan (2011) en la investigación realizada para su maestría afirma que “el conglomerado de Lima se halla compuesto por cantos rodados, gravas, arenas y limos, en

algunos sectores se ubican boleos mayores de 12 pulgadas, superficialmente presenta una cobertura con suelo fino de espesor variable según el lugar”. La nomenclatura utilizada para describir este tipo de suelo granular es:

- Bloques: Fragmentos rocosos mayores o iguales a 1m.
- Boleos: Materiales mayor de 12” y menos a 1m.
- Cantos rodados: Material mayor de 3” y menor de 12”.
- Grava gruesa: Material que pasa la malla de 3” y retiene la malla ¾”.
- Grava fina: Material que pasa la malla de ¾” y retiene la malla N°4.

En la Tabla 1 se muestra el resumen realizado por el Ing. A. Martínez Vargas (1995, como se citó en Shuan, 2011, p.17) de los sistemas que consideran fracciones mayores 3” para poder clasificar el conglomerado.

Tabla 1

Clasificación por granulometría para tamaños mayores de 3”

DENOMINACIÓN		TIPOS DE TAMAÑO	AGU	DIN 4022	ASTM D422, D653	AASHTO T-88	SUCS D-2487	ASEE
Ingles	Castellano	Tamaño (mm)						
Boulders	Bloques (Boulders)		>4000	>60	>300 (12”)	>300 (12”)	>75	(Bldr) >230 (9”)
Cobbles	Bolones (Cobbles)	Muy grande	4000 a 2000					
		Grande	2000 a 1000					
		Mediano	1000 a 500					
		Pequeño	500 a 250					
	Guijarros	Grandes	250 a 125		300 a 75	>75		
		Pequeños	125 a 64		(12” – 3”)			
Gravels	Gravas	Muy Gruesa	<64	<60	<75 (3”)	<75 (3”)	<75 (3”)	<75 (3”)

Fuente: Martínez Vargas (1995)

El ingeniero Vizurraga (2002) sostiene que las condiciones geológicas de Lima son indispensables para la planificación futura de Lima y los múltiples alcances en el área geotécnica.

2.3 Geomorfología de la zona

La geomorfología de esta zona es el resultado del proceso tectónico y plutónico, junto a los procesos geodinámicos que modelaron la región. La erosión, la acumulación de arena eólica sobre la zona y la influencia del drenaje de los ríos Chillón, Rímac y Lurín dieron lugar a la configuración del actual relieve. Además, cabe destacar que estuvo influenciado por el anticlinal de Lima y el proceso de dislocamiento regional.

El material proveniente del río Rímac tiene diferentes características tanto en origen, geometría, propiedades y otras al del Río Chillón. Por un lado, los cantos rodados o gravas del primero están formados por rocas ígneas, mientras que para el río Chillón son las volcánicas de andesitas, siendo estas últimas las más resistentes tal como sostuvo Porturas (1964, como se citó en Martínez, 2007).

Entre las unidades geomorfológicas importantes, se puede resaltar las nombradas a continuación: el borde litoral, planicies costaneras y conos deyección, lomos y cerros testigos, valles y quebradas.

El borde litoral es el área firme paralela a la línea litoral que está expuesta a la acción de las olas marinas, lo cual produce diferentes bahías, ensenadas, puntas, etc. El socavamiento y erosión dio a cabo la formación de los acantilados. La terraza aluvial toma mayor altura de Norte a Sur, acentuándose en Miraflores que es la parte central del cono deyección del río Rímac.

Las planicies costeras son las áreas comprendidas entre el borde litoral y las estribaciones de la Cordillera Occidental. Es una faja angosta que se ensancha en los valles de Chancay, Chillón, Rímac y Lurín. Conformada por amplias superficies cubiertas de gravas y arenas, provenientes de los ríos Rímac y Lurín; y de arena de acarreo eólico de las playas.

El cono de deyección es la llanura aluvial cubierta por material de acarreo del Río Rímac con intercalación de materiales procedentes del río Chillón. Durante diversas épocas geológicas cambió su curso hasta llegar a la actual posición que constituye el terreno de fundación del Conglomerado de Lima.

Para el Ingeniero Martínez (2007) la información geomorfológica del Conglomerado de Lima resulta ser de mayor interés puesto a que está relacionada a la realidad de la vida útil de una obra y la evolución de los suelos con el paso del tiempo.

En la Figura 4 se muestra el Mapa Geomorfológico de Lima de Martínez y Porturas (1975), donde a las fases de evolución de los depósitos se les conoce como terrazas, entre las cuales encontramos cuatro principales donde predomina la terraza t_2 del Conglomerado de Lima. Se hace evidente que existieron eventos importantes durante la evolución de los valles junto a inundaciones, erosiones y sedimentación que se ven en las terrazas ribereñas.

Figura 4. Mapa Geomorfológico de Lima

Fuente: Martínez y Porturas (1975) tomado de Martínez (2001)

2.4 Geodinámica interna

La ciudad de Lima se encuentra ubicada en uno de los ambientes sismo-tectónicos con mayor actividad sísmica en la Tierra, donde se han registrado terremotos de gran magnitud históricamente. Perú forma parte del Cinturón Circumpacífico o también conocido como Anillo de Fuego del Pacífico, donde ocurren el 80% de los sismos terrestres.

La Costa peruano-chilena responde al encuentro de dos placas terrestres importantes: la Placa Sudamericana (continental) y la Placa de Nazca (oceánica), cuya interacción habría originado la Cordillera de los Andes. El proceso de subducción se da de dos modos: subhorizontal en las regiones norte y centro, y normal en la región sur. Con el tiempo, el proceso ha modificado la morfología del Perú dando a lugar a sistemas de fallas geológicas en la superficie como resultado del engrosamiento de la corteza y el plegamiento de sedimentos (Tavera et al., 2014).

A parte de la interacción de las Placas de Nazca y Sudamericana, la segunda fuente de origen responsable de la sismicidad en Perú son las fallas geológicas. Se producen reajustes en la corteza como efecto secundario a la colisión de las placas.

Tal como propuso Lomnitz. C en 1974, como mencionó Vizurraga en su tesis (2002), la búsqueda de mayor información en la teoría de las placas tectónicas permitiría tener mayor predicción en la actividad sísmica y conocer el potencial de riesgo sísmico de la costa peruana.

La Tectónica de Placas es una teoría que explica la formación del relieve terrestre, donde existe una capa sobre la superficie de la Tierra llamada Litósfera. Esta es una superficie rígida que se divide en fragmentos llamados placas, los cuales flotan sobre la Astenosfera. Las placas encajan entre sí, sin embargo, su posición no es estática y se mueven constantemente de diferente manera (acercarse, separarse o deslizarse). La interacción entre placas es la responsable de alterar la estructura terrestre. Se desconoce el mecanismo básico causante del movimiento, pero se sostiene que se debe a unas corrientes de convección, movimientos del mismo manto y a objetos gravitacionales.

La Placa de Nazca avanza hacia el Este subyaciendo debajo de la Placa Sudamericana, la cual avanza hacia el Noroeste; ambas a diferentes velocidades. Es un lugar frecuente de reajustes en la corteza terrestre, por ello ocurren sismos de gran magnitud. El país ha

sufrido mayor cantidad de sismos de foco superficial ($h < 60\text{km}$), distribuidos entre la línea de la fosa peruano-chilena y la costa. En la Figura 5 se presenta el mapa de actividad sísmica ocurrida en el país durante los años 1960-2017, los puntos rojos son los sismos de foco superficial.

Figura 5. Mapa sísmico del Perú. Periodo: 1960 – 2017

Fuente: Instituto Geofísico del Perú – IGP (2017)

A partir del trabajo realizado por Silgado E. (1978) y Dorbath et al. (1990), la información recopilada acerca de los grandes sismos que afectaron el territorio peruano daban como resultado que fueron mayores los eventos ocurridos en la costa peruana que en el interior

del país. Alva Hurtado et al (1984) luego de la recopilación histórica de los eventos sísmicos ocurridos en el país, propuso un mapa de distribución de máximas intensidades sísmicas. En la Figura 6, se puede observar que la ciudad de Lima tiene asignado un valor de X y IX en la escala de intensidades Mercalli Modificada.

Figura 6. Distribución de máximas intensidades sísmicas observadas en el Perú

Fuente: Alva Hurtado et al. (1984)

En la Figura 7 se observa la división del territorio nacional en cuatro zonas según la distribución espacial de los sismos ocurridos, las características a rasgos generales y la atenuación con la distancia epicentral.

Figura 7. Mapa de las zonas sísmicas del Perú

Fuente: Norma E030 Diseño Sismorresistente

La ciudad de Lima se encuentra dentro de la zona 4, donde se asigna un factor de 0.45, que es la aceleración máxima horizontal en suelo rígido con una probabilidad de 10% de ser excedida en 50 años.

En la investigación realizada por Tavera et al. (2014, como se citó en Yauri, 2017) identificó una laguna sísmica en la región central del Perú, que abarcaría la región de Lima principalmente y estaría acumulando energía sísmica desde el año 1746 (270 años). En conjunto con otras metodologías plasmadas en una serie de estudios efectuados por diversas instituciones, se concluye que los terremotos ocurridos durante este periodo no habrían liberado el total de energía sísmica, por lo que se estaría esperando un sismo de magnitud 8.8 Mw.

2.5 Parámetros geotécnicos

El conocimiento de las características geotécnicas de un suelo implica determinar el tipo de suelo existente y su distribución en el área de interés, la obtención de los parámetros de resistencia e identificar las zonas con suelos especiales (Vizurraga, 2002).

Para lograr esta caracterización se requiere de la recopilación de gran cantidad de estudios de mecánica de suelos junto al registro de ensayos realizados representativos del material. Los suelos de Lima han sido parcialmente estudiados por diversas instituciones, universidades y profesionales, de lo cual la información está dispersa e incluso se mantiene privada al análisis.

Carrillo (1989) sostiene que la potencia del Conglomerado de Lima en la parte central del cono de deyección sobrepasa los 400 metros de profundidad, luego de realizar perforaciones en diferentes distritos donde se llegó hasta más allá de los 200 m de profundidad y no se ubicó el basamento rocoso. Esto se respalda con los trabajos realizados por Arce (1987) y Le Roux, Tavares, y Alayza (2000, como se citó en Vizurraga, 2002) que obtuvieron que las profundidades del sustrato oscilaban entre los 200 y 600 metros, resultados hallados mediante mediciones geofísicas de resistividad eléctrica.

Maggiolo, R. (1969, como se citó en Vizurraga, 2002) da a conocer información y referencia de los suelos, teniendo en consideración que existían limitaciones, delimita la zona céntrica que incluye los distritos de La Victoria, Lince, San Isidro, Surquillo, Miraflores y gran parte de Surco, donde el conglomerado se clasifica como una grava bien graduada GW a una pobremente graduada GP con pocos finos. En el mismo año, el ingeniero Carrillo mediante ensayos de placas a carga uniforme y estática realizados por la UNI en diversos lugares de la ciudad, presenta una correlación entre los suelos y el módulo de elasticidad que puede ser tomada como referencia. Para los suelos arcillosos se tendrá un módulo entre 45 a 214 kg/cm², limos arenosos 90-250 kg/cm² y suelos gravosos 326-1692 kg/cm².

Como se mencionó anteriormente, la acción de los ríos depositó principalmente grava de textura clasto mezclado en zonas por materiales finos como arenas, arenas limosas e incluso arcillas. Las gravas son subredondeadas a redondeadas englobadas en una matriz.

A partir de diversos estudios, el ingeniero Carrillo estableció los parámetros físicos y mecánicos para el conglomerado de Lima que se muestran en la Tabla 2.

Tabla 2

Parámetros físicos y mecánicos del Conglomerado de Lima

Parámetro	Rango
Peso unitario seco	1.80 a 2.20 Tn/m ³
Densidad Relativa	70% a 95%
Diámetro efectivo (D_{10})	0.15 a 0.45
Coefficiente de uniformidad (C_u)	10 a 130
Cohesión promedio (c)	0.40 kg/cm ² a 0.80 kg/cm ²
Ángulo de fricción (ϕ)	36° a 42°
Módulo de Rigidez (G)	120 a 700 kN/m ² *Varía según la profundidad

Fuente: Recopilación del Ingeniero Carrillo (1969)

La investigación de las gravas en el Perú resulta ser ineficiente porque para ello es necesario ejecutar ensayos in situ y de laboratorio usando equipos de gran magnitud que permitan ensayar los especímenes con su granulometría real. Esto no resulta ser factible para la mayoría de empresas constructoras y ejecutoras ya que el costo de ellos es elevado y afectaría en gran porcentaje al presupuesto planificado.

La zona estudiada abarca un área muy extensa, sin embargo, los materiales existentes responden al denominado conglomerado de Lima, el cual abarca casi toda la región formando parte del abanico aluvial. Por ello, los resultados obtenidos de diferentes estudios dan como resultados valores similares con respecto a la grava.

La campaña geotécnica buscará caracterizar lo mejor posible los materiales que se encuentran mediante ensayos in situ y ensayos de laboratorio. Debido a la gran cantidad de datos, se lleva a cabo un proceso estadístico que permita obtener valores representativos del suelo de acuerdo a la clasificación.

2.6 Caracterización del material de la zona de análisis

Para la presente investigación se realizó una recopilación de información bibliográfica procedente de diversas fuentes: estudios de ensayos a gran escala recopilados ejecutados en la ciudad de Lima, un conjunto de estudios de mecánica de suelos (09) realizados en

el conglomerado característico (distrito de San Isidro, Miraflores y Surco) y trabajos realizados por la empresa Geodata donde se encuentran calicatas manuales y sondeos. Los resultados obtenidos de los proyectos muestran las mismas características y tendencias.

Figura 8. Ubicación de los proyectos recopilados

Fuente: Elaboración propia.

2.6.1 Ensayos a gran escala recopilados

Los estudios a gran escala corresponden a diversos autores que optaron por ensayos de corte directo in situ y de laboratorio a gran escala para obtener las propiedades de corte del material gravoso que se encuentra en la ciudad de Lima. Los diversos proyectos se realizaron a lo largo de la ciudad de Lima, los resultados se muestran en la Tabla 3.

Tabla 3
Recopilación de datos bibliográficos de ensayos de corte in situ en el Conglomerado de Lima

Código	Ubicación	SUCS	Parámetros		Referencia
			c (kg/cm ²)	φ (°)	
ER - 1	Cerca al Hospital Rebagliati. Alt Cdra. 14 Av. - Arenales	-	0.40-0.50	35-40	UNI (1972)
ER - 2	Cruce Jirones Cusco y Camaná	GP	0.425	40.0	UNI (1972)
ER - 3	Cruce Av. Abancay y Av. Nicolás de Piérola	GP - GC	0.60	37.0	UNI (1972)

ER - 4	Banco de Vivienda (Av. Emancipación y Jirón Camaná) - Cercado de Lima	GP	0.40	40.0	HUMALA (1982)
ER - 5	Terreno de la Beneficencia Pública (Av. Abancay Cdra. 14 y Nicolas de Piérola) - Cercado de Lima	GP-GC	0.60	37.0	HUMALA (1982)
ER - 6	Campus UNMSM (Intercambio Vial Av. Universitaria y Venezuela Lima)	GP-GM	0.15	34.0	UNI FIC - Alpha Consultores (1996)
ER - 7	Acantilado de la Costa Verde Malecón de La Marina - Miraflores	GP	0.55	39.9	Jorge Alva (1997)
ER - 8	Intersección Av. Izaguirre y Panamericana Norte	GP	0.2	40	2005
ER - 9	Centro Empresarial San Isidro, cruce Av. República de Panamá y Calles Miguel Seminario y San Cristóbal, San isidro	GP	0.27	43.5	Alva (2008)
ER - 10	Hotel Larcomar (Miraflores - Lima)	GP	0.10	35.0	Jorge Alva Ingenieros (2009)
ER - 11	Hotel Larcomar (Miraflores - Lima)	GP	0.20	40.0	Jorge Alva Ingenieros (2009)
ER - 12	Proyecto Vía Parque Rímac	GP	0.40	48.0	-
ER - 13	Sector Santa Anita (10.5 m) Pico. Estación Central - Consorcio Constructor M2 Lima, Distrito Santa Anita		0.64	42	Geo Frontier (2014)
ER - 14	Sector Santa Anita (10.5 m) Residual. Estación Central - Consorcio Constructor M2 Lima, Distrito Santa Anita		0.36	37.5	Geo Frontier (2014)
ER - 15	Av. Salaverry, Hospital del Empleado. Estación Central - Consorcio Constructor M2 Lima, Distrito Santa Anita		0.4	36	Geo Frontier (2014)
ER - 16	Sector Santa Anita (20m) Pico. Pozo P-21 - Consorcio Constructor M2 Lima, Distrito Santa Anita		0.47	43	Geo Frontier (2015)
ER - 17	Sector Santa Anita (20m) Residual. Pozo P-21 - Consorcio Constructor M2 Lima, Distrito Santa Anita		0.4	39.5	Geo Frontier (2015)
ER - 18	Carretera Central Km. 14.8 Ate Vitarte, Lima	(*)	0.5	48.5	-

Fuente: Elaboración propia.

De acuerdo con estos datos tenemos lo siguiente: el parámetro de cohesión tiene como valor mínimo 0.10 kg/cm^2 y máximo 0.64 kg/cm^2 , teniendo un valor promedio de 0.39 kg/cm^2 . El ángulo de fricción mínimo es 34° y máximo 48° , donde la media es 39.77° . Las profundidades son variables según el estudio, por lo que el valor es referencial.

Al realizar el análisis se debe considerar la presión del suelo que va a ejercer sobre la estructura de tierra. Se van a generar esfuerzos iniciales, donde el valor de coeficiente de

empuje dependerá del estado en que se encuentre el suelo. En este caso, el suelo se encuentra en estado activo debido a que será afectado por una modificación donde hay esfuerzos generados por la aplicación de cargas en la parte superior del talud. El coeficiente activo se da por la siguiente ecuación:

$$k_A = (\tan(45 - \frac{\phi}{2}))^2 \quad \text{Ecuación 1}$$

De acuerdo al parámetro de fricción utilizado, se tendrá un coeficiente de empuje concordante.

2.6.2 Estudios de mecánica de suelos

Para la determinación de los parámetros geomecánicos se utilizaron los nueve (09) estudios de mecánica de suelos que se detallan en la siguiente tabla.

Tabla 4

Relación de ensayos de mecánica de suelos recopilados de los distritos de Surco, San Isidro y Miraflores

Código	Ubicación
EMS - 01	Centro Empresarial El Derby, Surco
EMS - 02	Edificio Benavides, Miraflores
EMS - 03	Construcción de Estacionamientos Subterráneos, Miraflores
EMS - 04	Edificio Pezet, San Isidro
EMS - 05	Hotel y Oficinas Talbot, San Isidro
EMS - 06	Edificio Hotel Attko, Miraflores
EMS - 07	Edificio Torre Tekton, San Isidro
EMS - 08	Edificio Multifamiliar Bolognesi, Miraflores
EMS - 09	Edificio Juan de Aliaga, Magdalena del Mar

Fuente: Elaboración propia.

A partir de los resultados obtenidos de los estudios de suelos (Anexo) se verifica que el suelo de Lima está conformado de manera general por grava arenosa, conocido como conglomerado, y la densidad se incrementa con la profundidad. En la tabla se muestra los parámetros geomecánicos de 09 proyectos y en la figura se muestra el perfil estratigráfico representado.

Tabla 5

Resumen de parámetros geomecánicos de los proyectos

Tipo de Suelo	Prof. (m)	Espesor (m)	γ (kN/m ³)	c (kN/m ²)	ϕ (°)	V _p (m/s)	V _s (m/s)	μ	G _d max (Mpa)	E _d max (Mpa)
Grava Suelta	3.00	3.00	19.00	20.00	36.00	1,912	305	0.30	179	411
Grava Medianamente Densa	10.00	7.00	21.00	30.00	38.00	1,965	550	0.30	651	1,714
Grava Densa	20.00	10.00	22.00	40.00	40.00	2,197	695	0.30	1,249	3,247
Grava Muy Densa	30.00	10.00	22.00	50.00	42.00	2,528	775	0.30	1,614	3,784

Fuente: Elaboración propia.

Para el módulo elástico estático generalmente se opta por un valor del 10% del módulo elástico dinámico, sin embargo, existen diferentes correlaciones en la literatura. Asimismo, a partir de los perfiles estratigráficos recopilados en los ensayos de mecánica de suelos, se tiene este perfil estratigráfico de cada estudio de mecánica de suelos.

Figura 9. Perfil estratigráfico de los estudios de mecánica de suelos

Leyenda	
	Material de relleno
	Arcilla, Arena
	Grava suelta
	Grava medianamente densa
	Grava densa
	Grava muy densa

Fuente: Elaboración propia.

2.6.3 Ensayos Geodata

Estos ensayos de manera conjunta han permitido caracterizar la densidad, deformabilidad y compacidad de los materiales.

Densidad in situ del suelo

Mediante los ensayos de densidad in situ realizados en las calicatas, cuyos resultados forman parte del Anexo Ensayos de Geodata, se obtuvo que la densidad se encuentra entre los valores 20 y 24 kN/m³, aunque existen valores fuera de este rango. Se puede apreciar que los valores son más bajos para la profundidad de 5 a 10 metros que se relaciona a las gravas con menor compacidad conocidas como GP-S, y los valores más altos a las gravas más firmes GP-F. Para la profundidad a la que llevaremos a cabo el análisis, se adopta el valor característico 22 kN/m³ en todo el estrato. En el gráfico se muestra la variación de la densidad con respecto a la profundidad.

Según los ensayos realizados en las calicatas, los materiales del suelo principalmente son GP, un 76% aproximadamente, y un 9% son GW según la clasificación SUCS, mientras que lo restante es clasificado como arenas, gravas y mezcla de ambas.

Con respecto a la clasificación AASHTO, el material se clasifica como A-1-a en un 95% de las muestras. La distribución de partículas del suelo se reparte en más de 50% como gravas, seguido de arena, presencia de bolonería y un porcentaje mínimo de finos.

Gráfico 1. Valores de densidad in situ en función de la profundidad del Conglomerado de Lima.

Fuente: Elaboración propia.

Ensayos presiométricos

Con respecto a la deformabilidad del grupo geotécnico GP, en las perforaciones diamantinas se realizaron ensayos presiométricos. Se considera una densidad de 22 kN/m³, intermedia entre una grava suelta GP-S y una grava firme GP-F, con un coeficiente de Poisson característico de 0.3.

Los valores obtenidos para los intervalos de 0 a 5 metros no han sido considerados, debido a que es probable que engloben materiales de tipo relleno y con presencia de arcillas. De los intervalos de profundidad de 5 a 10 metros, se obtuvieron valores propios de las gravas sueltas GP-S, mientras que los característicos de las gravas firmes son considerados a partir de la profundidad de 10 a 30 metros. En el Anexo se muestran los ensayos realizados.

En el gráfico 2 se muestran los valores de módulos presiométricos obtenidos para el primer, segundo ciclo y tercer ciclo frente a la profundidad. Los valores para los ciclos I y II son parecidos, donde para las gravas más sueltas o de menos compacidad los resultados validos son los del ciclo I, y para las gravas firmes el ciclo II.

Gráfico 2. Módulo de elasticidad frente a la profundidad

Fuente: Elaboración propia.

De los resultados obtenidos mediante los ensayos presiométricos, se puede diferenciar el módulo presiométrico, el módulo edométrico y el módulo de elasticidad. Para el fin de esta tesis se hará uso del módulo de elasticidad, cuyo valor utilizado es el valor promedio menos la mitad de la desviación estándar de los datos.

A continuación, la tabla presenta el resumen de los módulos de deformación estáticos a considerar.

Tabla 6

Resumen de módulos de deformación a partir de los ensayos presiométricos

Grupo geotécnico	Ciclo	Módulo presiométrico E_p			Módulo edométrico E_m			Módulo elasticidad E			G (MPa)
		E_p prom (MPa)	Desv.	E_p carac. (MPa)	E_m prom (MPa)	Desv.	E_m carac. (MPa)	E prom (MPa)	Desv.	E carac. (MPa)	
GP-S	I	154	95	107	616	378	426	457	281	317	122
GP-F	II	326	184	234	1303	735	935	968	546	695	267
GP-F	III	394	230	279	1577	919	1117	1172	683	830	319

Fuente: Elaboración propia.

De los resultados obtenidos se tendrá un valor promedio de 317 MPa para las gravas menos compactas (5 a 10 m), un valor de 695 MPa para aquellas con mayor compacidad (10 a 20 m) y un valor de 830 MPa para aquellas con mayor profundidad.

3 TALUDES PROVISIONALES DE RAMPAS DE ACCESO

3.1 Generalidades

La construcción de las rampas de acceso en los diversos proyectos de excavación debe considerar un análisis de los taludes provisionales, puesto a que es el pase por donde transita la maquinaria y se involucra la seguridad de los trabajadores.

En este capítulo se definen los conceptos de talud y excavación. Además, se hace referencia a cuatro normativas que recomiendan determinadas características geométricas para las rampas como vía de vehículos, tales como el ancho, el talud y la pendiente.

La presente investigación se enfoca en el estudio de un talud artificial, denominado así porque es realizado al momento de excavar; y provisional, ya que su duración está establecida para un periodo determinado. Es importante tener presente que los taludes de las rampas de acceso representan un riesgo si es que no se toma ninguna consideración para su construcción.

3.2 Definición de talud

Un talud es cualquier superficie inclinada respecto de la horizontal que tenga que adoptar permanentemente las estructuras de tierra. Resulta importante analizar esta estructura compleja porque puede presentar problemas de mecánica de suelos y mecánica de rocas (De Matteis, 2003). En la Figura 9 se observa un esquema de dibujo.

Las partes de un talud según Baltodano (2013) son las siguientes:

- la pendiente es aquella que describe la inclinación del talud.
- la corona y pie del talud, son la intersección con el terreno plano que limita al talud.
- la cara del talud es el área comprendida entre la corona y pie del talud.
- la altura del talud es la diferencia de elevación entre la corona y pie del talud.
- la terraza es la zona horizontal formada en la cara del talud.

Figura 10. Descripción de un talud.

Fuente: Elaboración propia

Teniendo en consideración el origen del talud se puede clasificar en dos tipos:

3.2.1 Talud natural

Se denomina también ladera natural o simplemente ladera, la cual se origina de forma natural sin la intervención humana, forma parte de la topografía natural. Puede ser causado por erosión (lomas, taludes en valle y acantilados costeros y de ríos) o por acumulación (laderas).

Es esencial tener en cuenta las circunstancias que permitieron la formación del talud y con ello, la evolución geológica que lo acompañó. Además, las condiciones climáticas registradas en su historia junto a los esfuerzos a los que estuvo sometidos, ya que ambas afectarían las condiciones de estabilidad de manera directa.

El deslizamiento de un terreno de este tipo está asociado a las zonas de relieve montañoso, a la intensidad y la duración de precipitaciones (tal como la erosión en cauces), y a las formaciones litológicas especialmente sensibles a los movimientos.

3.2.2 Talud artificial

Se conoce como corte o talud artificial, originado por la acción del hombre para la construcción de carreteras, represas, ferrocarriles, etc. Según su forma, se clasifica en talud de terraplén (rellenos) y talud de corte. También pueden clasificarse en taludes permanentes o taludes temporales.

3.2.2.1. Taludes permanentes

Son aquellos taludes que son contruidos con fines de edificación y de ser estables a largo plazo, primando en el diseño de criterios de seguridad. Es usual recurrir a medidas de estabilización complementarias de presentarse el caso.

3.2.2.2. Taludes temporales

Son taludes contruidos comúnmente en la minería, proyectados para ser estables a corto y mediano plazo, primando en el diseño los criterios de carácter económico.

3.3 Definición de excavación

Es la operación de cortar y remover cualquier clase de suelo independiente de su naturaleza o de sus características físico-mecánicas, dentro o fuera de los límites de construcción. Su ejecución incluye las operaciones de nivelación y evacuación del material removido a su lugar de disposición final. (Moscozo, 2011, p.27)

Las excavaciones pueden agruparse según su profundidad, el nivel de detalle, el tipo de material excavado o por su grado de humedad. A continuación, se describirán aquellas según su profundidad y nivel de detalle.

3.3.1 Por su profundidad

- **Poco profundas**

Aquellas excavaciones que se caracterizan por tener de uno a cinco metros de profundidad pertenecen al grupo de poco profundas. Son realizadas con maquinaria de poca potencia, o también con mano de obra de manera intensiva. Cabe resaltar que la construcción de las rampas se limita para el paso del personal más es necesario para la salida de vehículos.

Con respecto a la protección de los taludes si se presenta el caso, se recurrirá mayormente a los apuntalamientos porque al no tener mucha altura no requiere de un sistema complejo.

- **Profundas**

Por otro lado, se encuentran aquellas que son consideradas profundas. Se caracterizan por tener una profundidad mayor a los cinco metros y se realizan con maquinaria más potente. Además, es importante considerar que existe mayor probabilidad de posibles desprendimientos de tierra debido a la profundidad, y de esta manera se tendrá que adoptar medidas de seguridad para que la vida de los trabajadores no corra riesgo.

Se utilizan distintos sistemas de protección tales como micropilotes, pilotes, suelo enclavado, ente otros (Moscozo, 2011).

3.3.2 Por su nivel de detalle

Las excavaciones se pueden clasificar según su nivel de complejidad en excavación masiva, excavación estructural y excavación en rampa.

Por un lado, aquellas excavaciones donde se realice remoción de grandes volúmenes de suelo natural son las conocidas como excavación masiva (Asociación Chilena de Seguridad: s.f.). Se llevan a cabo de forma mecanizada y manual, el rendimiento dependerá de factores como la clase del suelo excavado, experiencia del operador de la maquina o el tipo de maquinaria.

Se conoce como excavación estructural a aquellas que son realizadas para las fosas de cimentación. Estas deben de respetar las longitudes establecidas, así como la profundidad con la que se contará.

Por último, la excavación en rampa es aquella que contempla la rampa de salida para el tránsito de camiones. Dependerá de la profundidad de los sótanos, la maquinaria disponible y cómo acceder.

3.4 Rampa de acceso para la entrada y salida de maquinaria a obra

Generalmente no existe un diseño preliminar para las rampas de circulación de vehículos en la etapa de obra, las características de sus dimensiones dependen del ingeniero a cargo o empresa de movimiento de tierras, que no siempre está acompañada de medidas de seguridad. Es importante mencionar que no hay una normativa o recomendación por parte de una organización que esté dedicada al diseño de esta rampa, por ello a continuación se hará mención de diversas fuentes.

3.4.1 Ubicación

La conformación de esta rampa dependerá de la profundidad y forma del área del terreno (Moscozo, 2011). Es importante que no obstruya el proceso de excavación, es decir, el avance de la obra y debe contar con accesibilidad a la calle. El tráfico de las calles o avenidas cercanas debe afectarse de la menor manera, por ello es recomendable situar esta rampa en la calle con menos circulación de vehículos.

Por otro lado, los terrenos colindantes influirán en el terreno de la obra según la edificación que se tenga o no, ya que las fuerzas generadas en el área serán mayores o menos según ello.

3.4.2 Ancho de la rampa

Para la anchura de la estructura hay diferentes recomendaciones: la ACHS (2014) señala que las rampas deben tener un ancho útil no inferior a 3.6 m, señalizado con una baranda o cinta plástica en el borde. Además, se tendrá que construir un pasillo de ancho mínimo para el tránsito de trabajadores por esta rampa, provisto de barandas. El INSHT (2012) indica que esta medida debe ser como mínimo el ancho del vehículo más un margen de maniobrabilidad que se estima en 1.40 m, 0.70 m para cada lado del vehículo. En caso sea para peatones también, el ancho recomendable a adicionar es 1.00 m.

Conforme al ingeniero Moscozo (2011) una rampa debe tomar en consideración el parámetro simple de seguridad de ancho que consiste en el ancho total de la máquina más 1.50 m y señalizada con conos de seguridad. De esta manera, se garantiza el descenso de la máquina sin ningún problema y con seguridad. En 1976 la NTE-ADV sostuvo que el ancho mínimo de la rampa sería 4.50 m pudiendo ensancharse en las curvas, mientras se permitiera la maniobra de la máquina.

En la Figura 10 se puede observar una vista frontal de la cara del talud de la rampa de acceso/salida a una obra.

Figura 11. Ángulo del talud y ancho de la rampa

Fuente: Elaboración propia.

Sin embargo, lo indicado en el párrafo anterior tan solo es una recomendación para las empresas o ingenieros encargados de la obra para una buena funcionalidad.

3.4.3 Inclclinación del talud

El talud de esta rampa dependerá del material por el cual está conformado el suelo y el estado en el que se encuentra. Algunos de los factores tomados en consideración para determinar la inclinación máxima posible es la altura que tendrá el talud, el ángulo de rozamiento interno, la cohesión, el peso específico, la presencia de agua y el coeficiente de seguridad.

El talud natural es la máxima inclinación o pendiente que una pared del suelo puede tener asegurando la estabilidad estática y sísmica sin desprendimientos (ACHS, s.f.). La NCh349 (1999) recomienda algunos ángulos de talud según los tipos de terreno, se muestran en la Tabla 7.

Tabla 7

Ángulos del talud según la naturaleza del terreno

Naturaleza del Terreno	Ángulo (grados)	
	Terreno seco	Terreno húmedo
Roca dura	80 a 90	80
Roca blanda	55	55
Trozos de roca	45	40
Terreno vegetal	45	30
Mezcla de arena y arcilla	45	30
Arcilla	40	20
Gravilla	35	30
Arena Fina	30	20

Fuente: Norma Chilena Oficial (NCh 349, 1999)

Cabe resaltar que estas recomendaciones no especifican que pueda aplicarse para taludes de una rampa de acceso, por lo cual es recomendable tomarlo como una referencia más no como una base definitiva para tomar una decisión. Mayormente, la información manejada se refiere a taludes generales al momento de realizar una excavación, no centrándose en la rampa. Es por ello, que algunos factores o recomendaciones pueden ser consideradas muy conservadoras para el presente caso de investigación.

3.4.4 Pendiente de la rampa

En la NTE-ADV (1976) sostiene que la pendiente no será mayor a 12% en caso sea recto u 8% en curvo. Además, se debe garantizar la adherencia de la capa de rodadura para evitar inconvenientes con el vehículo como deslizamiento o atascamiento. Incluso cabe la posibilidad, según la ACHS, que se requiera de una cuña con manilla para impedir este tipo de situación.

La información es limitada, puesto a que la mayoría de indicaciones son referidas a las rampas de vehículos definitiva que forma parte de la edificación. La guía INSHT hace mención que en planos inclinados donde se tengan rampas en edificaciones (no rampas de movimiento de tierras), la pendiente máxima será del 12% al tener una longitud menor a 3 metros, del 10% cuando se tenga una longitud de 10 metros y del 8% en los otros casos.

4 METODOLOGÍA DE ANÁLISIS DE TALUDES

4.1 Generalidades

Tal como se desarrolló en el capítulo anterior llamado “Taludes provisionales de rampas de acceso” es necesario que se garanticen las condiciones de seguridad adecuadas. De esta manera, independientemente de la clase de talud, el estudio de estabilidad será fundamental para el desarrollo de cualquier proyecto.

El diseño de un talud estable estará en función de las condiciones de plazo (corto, medio o largo plazo), la relación de coste-seguridad, grado de riesgo aceptado, entre otros (González de Vallejo, Ferrer, Ortuño, & Oteo, 2002).

La posible inestabilidad de un talud en una excavación puede explicarse según Moscozo (2011) como la tendencia natural de las masas a equilibrar su potencial energético al originarse una diferencia de niveles topográficos entre los planos que conforman el talud. Estas masas encontraran su estado teóricamente de equilibrio al igual sus energías, alcanzando su estado limite en la formación de un plano horizontal.

Según sea la variación de la inclinación del talud corresponderá las cantidades de material a remover y el costo que ello conlleva. Un talud podría ser muy tendido y de esta manera muy seguro, sin embargo, desde el punto de vista económico no sería favorable. De ahí que el problema de estabilidad de taludes aparezca por las consideraciones de costo a tomar en cuenta, donde el talud más idóneo será aquel con la mínima masa de tierra por mover, es decir, aquel más empinado (De Matteis, 2003).

En este capítulo se expondrá la definición de estabilidad, los factores que influyen en ella y el factor de seguridad que se considera según la recopilación de normativas. Se describirá la técnica de Retroanálisis utilizada para hallar parámetros geotécnicos del suelo basándose en un talud existente. Al mismo tiempo que se dará a conocer los métodos por los cuales podemos analizar la estabilidad de un talud, los cuales son Método de Equilibrio Límite y el Método de Modelos Numéricos.

4.2 Definición de estabilidad

De Matteis (2003) define la estabilidad como la seguridad de una masa de tierra contra la falla o movimiento. En la Figura 11 se puede observar un suelo luego de la falla del talud.

Figura 12. Falla de talud

Fuente: Elaboración propia

El análisis de estabilidad de un talud tiene como fin determinar la resistencia media al corte del suelo y hallar un factor de seguridad. Los métodos de cálculo establecen un mecanismo de falla que, según el tipo de procedimiento que se elija, comparará las fuerzas que producen el movimiento con las fuerzas resistentes del terreno. Se basan en un planteamiento físico-matemático donde intervienen fuerzas estabilizadoras y desestabilizadoras actuantes sobre el talud. Los métodos pueden agruparse en dos grupos.

Por un lado, se encuentra el método determinístico, el cual define que, de conocerse las condiciones del talud, este podrá ser estable o no. Para ello, se deben seleccionar los valores apropiados de los parámetros físicos y resistentes que registran el comportamiento del material con el fin de precisar su estado de estabilidad y el factor de seguridad adecuado. Además, en este apartado existen dos grupos: métodos de equilibrio límite y métodos tenso-deformacionales.

Por otro lado, el método probabilístico considera la probabilidad de rotura de un talud bajo ciertas condiciones. Será necesario conocer la función de distribución de las distintas variables aleatorias en los análisis obteniendo funciones de densidad de probabilidad y distribución de probabilidad del factor de seguridad y curvas de estabilidad del talud. (González de Vallejo et al.: 2002)

Las metodologías existentes para la modelación matemática de un talud son diversas, pero tienen como objetivos principales los siguientes:

- Determinar si un talud es estable o inestable y el margen de la estabilidad.
- Analizar como ocurre la falla.
- Determinar la susceptibilidad del talud frente a mecanismos externos.
- Comparar las diferentes opciones de estabilización sobre el talud.
- Diseñar los taludes de manera óptima en términos de seguridad, confiabilidad y economía.

En la Figura 12 se presenta un resumen de los métodos de análisis de estabilidad de taludes.

Figura 13. Métodos de análisis de estabilidad de taludes

Fuente: Suarez (2009)

4.3 Factores influyentes en la estabilidad

González de Vallejo et al. (2002) indica que la estabilidad de un talud estará influenciada por factores geométricos (altura e inclinación del talud), factores geológicos, factores hidrogeológicos y factores geotécnicos (comportamiento del terreno como resistencia y deformabilidad). La combinación de los anteriores determina la condición de rotura de la estructura.

Por un lado, están aquellos factores llamados condicionantes o pasivos, los cuales dependen de los materiales naturales del suelo, tal como los factores geológicos (presencia de planos y zonas de debilidad en el talud), hidrogeológicos (presencia de agua) y geotécnicos. Las propiedades resistentes y el comportamiento del talud son determinadas tanto por la litología, estratigráfica y las condiciones hidrogeológicas.

Por otro lado, los factores desencadenantes o también conocidos como activos son aquellos factores externos que modifican las características, propiedades y condiciones de equilibrio de un talud ocasionando finalmente la rotura de este.

En la Tabla 7, se observa un resumen de los dos grupos de factores que pueden influir en la inestabilidad de un talud.

Tabla 8

Factores influyentes en la inestabilidad de los taludes

Factores condicionantes	Factores desencadenantes
Estratigrafía y litología.	Sobrecargas estáticas.
Estructura geológica.	Cargas dinámicas.
Condiciones hidrogeológicas y comportamiento hidrogeológico de los materiales.	Cambios en las condiciones hidrogeológicas.
Propiedades físicas, resistentes y deformacionales.	Factores climáticos.
Tensiones naturales y estado tenso-deformacional.	Variaciones en la geometría.
	Reducción de parámetros resistentes.

Fuente: González de Vallejo et al. (2002)

El comportamiento tenso-deformacional de un suelo y de forma, su estabilidad, esta principalmente determinado por las propiedades físicas y resistentes del material, además de la presencia de agua. Este último disminuye la resistencia del terreno y aumenta las fuerzas que generan inestabilidad.

4.4 Factor de seguridad

Se define como el factor por el cual debe reducirse la resistencia cortante del suelo para llevar a la masa potencialmente inestable a un equilibrio límite a lo largo de una superficie de deslizamiento previamente seleccionada. Es el coeficiente F por el cual se alcanzará el equilibrio estricto:

$$F = \frac{\text{Fuerzas estabilizadoras}}{\text{Fuerzas desestabilizadoras}} \quad \text{Ecuación 2}$$

También es conocido como

$$FS_s = \frac{\tau_f}{\tau_d} \quad \text{Ecuación 3}$$

donde

FS_s = factor de seguridad con respecto a la resistencia

τ_f = resistencia media del suelo al corte

τ_d = esfuerzo cortante promedio desarrollado a lo largo de la superficie potencial de falla

La resistencia media del suelo al corte está determinada por dos componentes, la cohesión y la fricción, se expresa como

$$\tau_f = c + \sigma' \tan \phi' \quad \text{Ecuación 4}$$

donde

c = cohesión

ϕ = ángulo de fricción

σ' = esfuerzo normal efectivo en la superficie potencial de falla

Cabe mencionar que una superficie de falla o superficie de deslizamiento es aquella que fue asumida a lo largo de la cual ocurre la rotura del talud. En los métodos se asumen un

gran número de superficies de falla, la que obtiene el valor mínimo de factor de seguridad es la denominada superficie crítica de falla (Suarez, 2009).

Otra definición del factor de seguridad es el cociente entre el valor de cohesión o ángulo de rozamiento del talud, y el valor de cohesión o ángulo de fricción requerido para mantener el talud estable (UPC COMMONS, s.f.).

Un talud es inestable con una probabilidad de falla cuando el valor del FS es menor a 1, cuando es igual a 1 el talud se encuentra en equilibrio, pudiendo estar en inminente ruptura u ocurrencia de falla, y se puede decir un talud estable cuando el valor es mayor a 1.

El coeficiente de seguridad a escoger depende del objetivo de la excavación y si es temporal o definitivo el talud, en conjunto con los costes de ejecución, consecuencias de la inestabilidad, entre otros. (González de Vallejo et al. :2002).

Valiente, Sobrecases y Díaz (2015) señalan que el factor de seguridad global o único engloba la imprecisión tanto en las acciones como en las resistencias, los modelos de cálculo y la incertidumbre del error humano. Donde se tiene como fuerza desestabilizadora más importante al peso de la masa deslizante, y, por otro lado, a la principal fuerza estabilizadora a la resistencia de corte del terreno en la superficie del deslizamiento.

4.4.1 Recopilación de normativas

El coeficiente de seguridad puede tomar como referencia las normativas nacionales e internacionales existentes. La elección del coeficiente dependerá de la temporalidad de la obra (provisional o definitiva) y de la situación de cálculo (estática o sísmica).

En el Perú, la Norma E050 Suelos y Cimentaciones del Reglamento Nacional de Edificaciones indica que un talud con presencia de estructura debe verificarse con un factor de seguridad como mínimo en consideraciones estáticas de 1.5, y en consideraciones sísmicas 1.25 (p.29). La CE.020 Estabilización de suelos y taludes del Reglamento Nacional de Edificaciones, Título II: Habilitaciones Urbanas, mantiene estos valores.

Según el Osinergmin (2017) el factor de seguridad mínimo de aceptación varía según el plazo de estabilidad al que se encuentre el talud, entre ellos encontramos los siguientes valores basados en la experiencia: si la estabilidad es a largo plazo, mayor a un año, el FS

> 1.5; si la estabilidad es a mediano plazo, entre 3 meses y un año, tendrá el valor entre 1.3 – 1.5; y finalmente si es a corto plazo, menor a 3 meses, tendrá se encontrará entre 1.1-1.3.

A nivel internacional, existen otras normativas para el coeficiente de seguridad a tomar en cuenta. La AASHTO LRFD recomienda que si no existen cargas estructurales próximas al talud o el estudio geotécnico es confiable, se empleará un factor de seguridad de 1.33; sino se empleará el 1.53. De realizar un análisis sísmico el valor será de 1.1.

La NAVAC-DM7 (Naval Facilities Engineering Command) indica que para taludes en condición temporal el coeficiente de seguridad tendrá que estar en el rango de 1.3 a 1.25, de manera estática; y de 1.2 a 1.15 será tolerable para condiciones sísmicas (Valiente et al.: 2015).

La FHWA (Federal Highway Administration) o también conocida como Administración Federal de Carreteras recomienda un factor de seguridad mínimo para la estabilidad de un terraplén, usando el método circular, de 1.3, si es al final de la construcción, y de 1.5 si es a largo plazo.

En España no hay un procedimiento único para procesos geotécnicos, sino se tienen de tres documentos de carácter geotécnico, con diferente rango normativo que son: la Guía de Cimentaciones de Obras de Carretera, la ROM 0.5-05 y el Código Técnico de la Edificación (Estaire y Olivenza, 2013).

Tabla 9

Valores del factor de seguridad en diferentes documentos españoles de carácter geotécnico

Combinación de acciones	de ROM 0.5-05	Guía de cimentaciones	de Código Técnico de Edificación
Cuasi-permanente	1.4	1.5	1.8
Fundamental	1.3	1.3	Nota 1*
Accidental o sísmica	1.1	1.1	1.2

Nota 1: El Código Técnico de la Edificación distingue únicamente entre situaciones persistentes o transitorias (FS=1.8) y situaciones extraordinarias (FS=1.2)

Fuente: Extraído de Estaire y Olivenza (página 6)

Para la presente tesis no se considera la combinación cuasi-permanente puesto a que el talud no será a largo plazo, es una obra provisional y no debe sobredimensionarse.

Tendremos el siguiente cuadro resumen de la normativa a considerar para el factor de seguridad:

Tabla 10

Resumen de normativas recopiladas para el factor de seguridad

Norma	Factor de seguridad
Nacional	
Norma Técnica E050 Suelos y Cimentaciones	
• Estático	1.5
• Sísmico	1.25
CE 020 Estabilización de suelos y taludes	
• Estático	1.5
• Sísmico	1.25
OSINERGMIN	
Estabilidad según Plazo	
• Largo plazo: mayor a 1 año	>1.5
• Mediano plazo: entre 3 meses y 1 año	1.3 – 1.5
• Corto plazo: menor a 3 meses	1.1 – 1.3
Internacional	
AASHTO LRFD	
• No hay cargas estructurales o estudio geotécnico confiable	1.33
• Hay cargas estructurales	1.53
• Análisis sísmico	1.1
NAVAC-DM7	
• Condición temporal en estático	1.3 – 1.25
• Condiciones sísmicas	1.2 – 1.15
FHWA	
• Terraplén hasta el final de la construcción	1.3
• A largo plazo	1.5
ROM 0.5-05	
• Fundamental	1.3
• Sísmica	1.1
Guía de cimentaciones	
• Fundamental	1.3
• Sísmica	1.1
Código Técnico de Edificación	
• Situación persistente o transitoria	1.8
• Accidental o sísmica	1.2

Fuente: Elaboración propia.

Para la presente investigación tendremos el análisis de un talud en condición estática y pseudoestático (pseudodinámico). Luego de la recopilación de normativas existentes que se muestra en la tabla anterior, a nivel nacional e internacional, se adoptará un factor de seguridad para el caso estático de 1.3 como mínimo ya que es una obra de condición temporal, generalmente

la etapa de movimiento de tierras abarca unos 4 meses de obra como máximo. Para la condición pseudodinámico se optará por un factor de 1.1.

4.5 Técnica de Retroanálisis

Esta técnica conocida también como análisis a posteriori de taludes (back-analysis) se realiza para estimar los parámetros de resistencia in situ de un suelo cuando se conoce el mecanismo, modelo, geometría e incluso rotura de un talud. Es un método efectivo puesto a que incorpora factores como la estructura del suelo, la heterogeneidad del suelo y el efecto de los planos de debilidad dentro de la masa de suelo (Arellano, Bielefeldt, & Correa, s.f.).

En general, los parámetros a hallar son los pares de valores de c y ϕ que cumplen con la condición de equilibrio estricto del talud ($F=1.0$) a lo largo de una superficie de rotura (González de Vallejo et al. :2002).

Con la geometría original de la estructura y el factor de seguridad se estiman los parámetros mediante un modelo 2D tal como Morgenstern-Price, Spencer, Janbu, Bishop, entre otros. Tang (1999) sostiene que un método que considere todas las condiciones de equilibrio obtiene un factor de seguridad que varía en $\pm 5\%$. Para las estimaciones en este método se debe de tener criterio y experiencia, conocer las limitaciones y los rangos de aplicabilidad para no cometer en errores de consideración (Arellano, Bielefeldt, & Correa, s.f.)

Entre los diversos métodos basados en esta técnica, para la presente tesis será de interés aquellos donde se considere que el talud no ha fallado. De esta manera, se encuentra el método de taludes intactos.

En caso se estudie un talud que no ha fallado, los parámetros obtenidos no tendrán la total certeza, pero permitirán saber el rango en que se encuentran. En caso de que se exhiban grietas de tracción en la coronación del talud, se podrá considerar un factor de seguridad entre 1.1 y 1.5. De no ser el caso, se puede adoptar un $FS=1.3$ siendo conservadores, teniendo en cuenta que es posible incurrir a costos innecesarios.

En caso se haya realizado una gran recolección de pendientes y alturas de taludes de una formación geológica en particular, se puede trazar una gráfica en función de la pendiente del talud (ángulo del talud) y la altura. Se ajusta una curva que pase por los puntos y se escogen dos o tres puntos, los cuales representan un solo par de c y ϕ .

4.6 Método de Equilibrio Límite

El Método de Equilibrio Límite analiza el equilibrio de una masa de terreno potencialmente inestable. Es limitado porque supone que la resistencia al corte del terreno se moviliza total y simultáneamente a lo largo de la superficie de corte. Sin embargo, su principal ventaja es que permite modelar geometrías complejas de manera rápida y fiable.

Se basa en lo siguiente: en primer lugar, la selección de una superficie teórica de rotura en el talud; en segundo lugar, el criterio de rotura de Mohr-Coulomb, y, en tercer lugar, la definición del coeficiente de seguridad (González de Vallejo et al. :2002).

De no existir fuerzas externas sobre el talud, las fuerzas actuantes en el plano de rotura para hallar el coeficiente de seguridad son las producidas por el peso del material, W , a la cohesión, c , y a la fricción, ϕ , tal como se puede observar en la figura 13. El coeficiente de seguridad viene dado por:

$$F = (R_c + R_\phi)/S$$

Ecuación 5

siendo:

R_c = fuerzas cohesivas = cA

R_ϕ = fuerzas friccionales = $W \cos \alpha \tan \phi$

S = fuerzas que tienden al deslizamiento = $W \sin \alpha$

A = área del plano de rotura

U = fuerza total debida al agua sobre la superficie A

Figura 14. Fuerzas actuantes sobre la superficie de rotura en un talud

Fuente: Elaboración propia (extraído de González de Vallejo,2002)

Las fuerzas estabilizadoras que pueden observarse en la figura son: la resistencia al esfuerzo cortante del terreno, la componente $W \cos \alpha$ del peso normal y las fuerzas exteriores a favor de la estabilidad. Con respecto a las fuerzas desestabilizadoras, se tiene la componente del peso $W \sin \alpha$, la resultante de las presiones intersticiales o del agua y las cargas exteriores contrarias a la estabilidad.

Hay varios métodos de Equilibrio límite, las variaciones principales son el tipo de superficie de falla y cómo actúan internamente las fuerzas sobre esta superficie. Se encuentran los métodos analíticos que proporcionan el coeficiente por ecuaciones simples tales como el método de Taylor y el de Fellenius, y los métodos numéricos que se realizan mediante iteraciones de ecuaciones y procesos, como el método de Morgenstern y Price, de Spencer, etc. En la Tabla 8 se puede mostrar un resumen de los métodos más utilizados.

Los métodos se pueden clasificar en dos grupos:

- Métodos que consideran el análisis del bloque o masa total

Son válidos para materiales homogéneos y son más simples puesto a que comparan las fuerzas en un punto de la superficie de rotura. En la Figura 14, se puede observar el problema más general de una superficie de rotura circular.

Figura 15. Fuerzas consideradas en un mecanismo de rotura circular

Fuente: Elaboración propia

- Métodos que consideran la masa dividida en rebanadas o fajas verticales

Pueden utilizarse en materiales no homogéneos y se hacen hipótesis sobre localización, posición y distribución de las fuerzas sobre las rebanadas. El método de Bishop modificado y el de Janbú son los más utilizados. (Figura 15).

Figura 16. División de un deslizamiento en rebanadas

Fuente: Elaboración propia (extraído de UPC COMMONS, s.f.)

En el caso de taludes simples homogéneos se puede utilizar tablas que permiten un cálculo rápido de factor de seguridad. Entre ellas se encuentra las desarrolladas por Taylor en 1966, Bishop Morgenstern (1960), Hunter y Schuster (1968), entre otras. Este uso no debe reemplazar el análisis riguroso, sino más bien puede servir como una comparación de resultados.

Tabla 11

Métodos más utilizados basados en Equilibrio Límite

Método	Superficies de Falla	Equilibrio	Características
Talud infinito	Rectas	Fuerzas	Bloque delgado con nivel freático, falla paralela a la superficie.
Bloques o cuñas	Cuñas con tramos rectos	Fuerzas	Cuñas simples, dobles o triples, analizando las fuerzas que actúan sobre cada cuña.
Espiral logarítmica (Frohlich 1953)	Espiral logarítmica	Fuerzas y momentos	Superficie de falla en espiral logarítmica. El radio de la espiral varia con el ángulo de rotación.
Arco circular (Fellenius 1922)	Circulares	Momentos	Círculo de falla, el cual es analizado como un solo bloque- Se requiere que el suelo sea cohesivo ($\phi=0$).
Ordinario o de Fellenius (Fellenius 1927)	Circulares	Fuerzas	No tiene en cuenta las fuerzas entre dovelas.
Bishop simplificado (Janbú 1968)	Circulares	Momentos	Asume que todas las fuerzas de cortante, entre dovelas, son cero.
Janbú Simplificado (Janbú 1968)	Cualquier forma	Fuerzas	Asume que no hay fuerza de cortante entre dovelas.
Sueco Modificado. U.S. Army Corps of Engineers (1970)	Cualquier forma	Fuerzas	Las fuerzas entre dovelas tienen la misma dirección que la superficie del terreno.
Lowe y Karafiath (1960)	Cualquier forma	Fuerzas	Las fuerzas entre dovelas están inclinadas en un ángulo igual al promedio de la superficie de terreno y las bases de las dovelas.
Spencer (1967)	Cualquier forma	Momentos y fuerzas	La inclinación de las fuerzas laterales son las mismas para cada tajada, pero son desconocidas.
Morgenstern y Price (1965)	Cualquier forma	Momentos y fuerzas	Las fuerzas entre dovelas, sea asume, que varían de acuerdo con una función arbitraria.
Sarma (1973)	Cualquier forma	Momentos y fuerzas	Utiliza el método de las dovelas en el cálculo de la magnitud de un coeficiente sísmico requerido para producir la falla.

Fuente: Suarez (2009)

A continuación, se describirá de manera general el método de las dovelas que será utilizado para el análisis.

4.6.1. Método de las dovelas o rebanadas

En este método, la masa de la parte superior de la superficie de falla se divide en tajadas verticales que pasan a considerarse un sólido rígido. El número de las tajadas depende de la geometría del talud y de la precisión que se requiera. La masa queda subdividida y en cada subdivisión se imponen las condiciones de equilibrio. Las fuerzas que actúan sobre una rebanada se pueden observar en la Figura 16.

Figura 17. Las fuerzas actuantes sobre una rebanada.

X_I , E_I , X_D y E_D son las fuerzas horizontales en el lado izquierdo y lado derecho respectivamente. P , N , U y S son las fuerzas que actúan en la base de la rebanada

Fuente: Extraído de Alonso (1989)

Consiste en realizar varias iteraciones para hallar el factor de seguridad suponiendo diferentes superficies circulares hasta hallar el valor F mínimo.

Este método permite tener una mejor aproximación a la distribución de las tensiones normales a lo largo de la superficie de rotura y facilita el análisis en terrenos donde el material no es homogéneo.

Hay numerosos métodos de rebanadas, la diferencia entre ellos son las hipótesis entre las fuerzas existentes de contacto entre las rebanadas. En la Tabla 9 se muestran los métodos más utilizados con sus respectivas hipótesis.

Tabla 12

Hipótesis de fuerzas entre rebanadas de distintos métodos de equilibrio límite

Métodos de Equilibrio Límite	Hipótesis
Fellenius (Ordinario) (1927)	Supone que las fuerzas entre rebanadas se anulan entre sí. Solo para deslizamiento circular.
Bishop Modificado (1955)	La fuerza resultante entre rebanadas es horizontal (significa que no hay fuerza tangencial entre rebanadas). Solo para deslizamiento circular.
Spencer (1967)	La posición de la fuerza normal entre rebanadas se define con la línea de empuje y se puede variar, es decir, cambiar la posición de las fuerzas resultantes entre rebanadas. Para cualquier superficie de deslizamiento.
Morgenstern-Price (1965)	Las fuerzas resultantes entre rebanadas son paralelas. Cualquier superficie de deslizamiento.
GLE	La dirección de las fuerzas resultantes entre rebanadas se define mediante la función predeterminada, el porcentaje de la función requerido para satisfacer el equilibrio de momentos y fuerzas se define buscando el punto de intersección en el diagrama factor de seguridad vs porcentaje de la función.
Corps of Engineers (1970)	Las direcciones de las fuerzas resultantes entre rebanadas se suponen paralelas al ángulo medio de la superficie del talud o a la línea definida por los puntos de entrada y salida de la línea de deslizamiento en el terreno. Cualquier superficie de deslizamiento.
Lowe-Karafiath (1960)	Las direcciones de las fuerzas resultantes entre rebanadas se suponen iguales al promedio de la superficie del terreno y superficie de deslizamiento en la base de cada rebanada. Cualquier superficie de deslizamiento.
Sarma (1973)	Los valores de las fuerzas resultantes entre rebanadas siguen ciertas pautas predeterminadas. Cualquier superficie de deslizamiento.

Fuente: Extraído de UPC COMMONS de Alonso (1989)

El método de Morgenstern-Price y el de Spencer son los más importantes a destacar porque son soluciones más exactas, a pesar de utilizar una función para el cálculo de fuerza entre las dovelas. La mayoría de métodos presentan algún inconveniente para el cálculo, por lo que es usual recurrir al método simplificado de Bishop.

4.6.1.1. Método de Spencer

El método de Spencer (1967) se basa en la hipótesis de que las fuerzas entre dovelas son paralelas las unas con las otras, es decir, tienen el mismo ángulo de inclinación. Las

ecuaciones de equilibrio de fuerzas y momentos se resuelven mediante un sistema de ensayo y error, donde se logra un nivel aceptable de error que obtenga el factor de seguridad y el ángulo de inclinación. Luego se calculan las demás fuerzas sobre las dovelas individuales. Según Duncan y Wright (2005), es el método más preciso y aplicable a la mayoría de geometrías de talud y suelos; y al mismo tiempo tiene el procedimiento de equilibrio más completo y sencillo para hallar el factor de seguridad. En la Figura 17 se muestra un esquema de las fuerzas actuantes en la rebanada los métodos Spencer y Morgenstern-Price. Las fuerzas X_L , E_L , X_D y E_D son las fuerzas horizontales en el lado izquierdo y lado derecho respectivamente, W son las cargas verticales externas, P es la fuerza normal y S es la fuerza tangencial a la base.

Figura 18. Esquema de fuerzas actuantes en una rebanada según método de Spencer y Morgenstern-Price.

Fuente: Elaboración propia

4.6.1.2. Método de Morgenstern y Price

El método de Morgenstern y Price (1965) asume que hay una función que relaciona las fuerzas de cortante y las fuerzas normales entre las dovelas. Esto lo convierte en un método más riguroso que el de Spencer, sin embargo, esta función no influye mucho en el cálculo de seguridad cuando se logra el equilibrio estático. La diferencia entre los resultados de ambos métodos es mínima.

4.6.2. Análisis pseudoestático

Se ha logrado un progreso en el estudio del comportamiento de una estructura de tierra sometida a una acción sísmica, de esta manera, actualmente se disponen de métodos que calculan la respuesta ante ello. Un análisis realizado por un método de equilibrio límite

obtenido estáticamente puede ser ampliado dando a lugar a la carga sísmica, la cual es representada como una fuerza adicional cuantificada conocido como coeficiente pseudoestático. Se le conoce como análisis pseudoestático, sin embargo, es correcto denominarlo análisis pseudodinámico.

Según Terzaghi (1950), citado en la tesis de Llatas y Capuñay (2019, p. 42), las fuerzas horizontales y verticales que genera el sismo son proporcionales a la masa de la porción del suelo a analizar, las cuales actúan en el centro de gravedad del elemento estudiado.

Con respecto a esta aplicación, existen limitaciones de este método junto a una complejidad en adoptar en una sola constante los efectos de un sismo. Un error sería utilizar el valor de la aceleración horizontal máxima, ya que solo opera en un instante de tiempo y en una dirección (Raygada, 2011).

Los coeficientes sísmicos han sido estudiados por múltiples investigadores, un resumen que abarca múltiples referencias es el realizado por Llatas y Capuñay (2019), quienes hacen referencia a los valores presentados por Abramson en su libro “Slope Stability and Stabilization Methods” y Yingbin Zhang en su libro “Earthquake-Induced Landslides”. En la siguiente tabla se muestran los valores de coeficiente K_h de ambos autores más relacionados a esta investigación.

Tabla 13

Valores de coeficiente K_h para el análisis pseudodinámico del libro de Abramson y Zhang

Coeficiente sísmico K_h	FS	Observaciones	Referencia
0.10	>1.0	Sismo importante	Cuerpo de Ingenieros, 1982
0.15	>1.0	Sismo de gran magnitud	Cuerpo de Ingenieros, 1982
1/3 a 1/2 de la aceleración superficial	>1.0	-	Macurson (1981)
1/3 a 1/2 de la aceleración superficial	>1.0	-	Macurson y Franklin, 1983
1/2 de la aceleración pico superficial	>1.0	Presas de tierra	Hyness, Griffin y Franklin (1984)
0.15	>1.10	Presas	CDCDMG (1997)
0.25 a 0.75 de la aceleración superficial	>1.1	Taludes urbanos	Stewart (2003)

Fuente: Adaptado de Slope Stability and Stabilization Methods (Abramson et al, 2002) y Yingbin Zhang, como se citó en Llatas y Capuñay (2019)

Para la presente investigación, el coeficiente sísmico horizontal utilizado será de $1/3$ ($K_h = 1/3a$) de acuerdo al criterio de Marcurson y Franklin (1983) y cumpliendo con Stewart (2003) que considera de 0.25 a 0.75 de la aceleración pico superficial para taludes urbanos.

Los sismos han sido escalados a 0.45g, la cual corresponde al valor de la aceleración máxima considerando 10 % de excedencia y 50 años de tiempo de exposición sísmica, lo cual corresponde a un periodo de retorno de un terremoto de 500 años. De manera que se tendrá un coeficiente sísmico horizontal de $K_h=1/3 a = 0.15 g$ para Lima.

4.6.3. Limitaciones de los Métodos de Equilibrio Límite

El método resulta ser muy útil en la práctica para la toma de decisiones, sin embargo, se debe de tener cuidado al momento de aplicarlo a casos complejos donde los esfuerzos y deformaciones jueguen un papel importante (Krahn, 2004). En el uso de este método se encuentran las siguientes limitaciones:

- Basado en la estática. Este método no tiene en cuenta las deformaciones, las distribuciones de presiones, por lo que puede resultar ser no realista. Sin embargo, ocurre en una parte del talud, por lo que el factor de seguridad es aceptable.
- Suponen esfuerzos distribuidos de manera uniforme.
- Los modelos de falla son sencillos. En ocasiones, no toma en cuenta diversas formas de deterioro de la masa del talud que deberían ser consideradas.
- El material es considerado como isotrópico.
- La evaluación de la estabilidad con sismo se realiza mediante el método pseudoestático, el cual representa la carga sísmica como una fuerza estática igual a un porcentaje de la masa involucrada (Martínez, R., Barrera, S. y Gómez, P. (2011))

4.6.4. Herramienta computacional de análisis Slide (Versión Estudiantil)

El programa Slide es el software de análisis de estabilidad de taludes más completo disponible. Es posible analizar todos los tipos de pendientes de suelo y roca, terraplenes, presas de tierra y muros de contención.

Este software considera tanto superficies circulares como no circulares; además, analiza una superficie en particular o puede realizar la búsqueda de una superficie crítica con la finalidad de encontrar la superficie de falla con el menor factor de seguridad.

Los métodos de análisis disponibles que posee el programa son Bishop, GLE/Morgenstern-Price, Janbu generalizado y corregido, Fellenius, Spencer, entre otros.

De los métodos disponibles, se usará el método GLE / Morgenstern-Price por ser el más exacto y como tipo de resistencia se utilizará la fórmula de Mohr Coulomb. Para la cual se ingresarán los parámetros de resistencia de cohesión (c) y ángulo de fricción (ϕ), así como, el nombre del material presente, su peso unitario y, de poseerlo, el nivel freático.

Al mismo tiempo, este software permite graficar una superficie de falla limitada por según lo que se considere, las cuales están superpuestas siguiendo un orden que va desde los factores de seguridad más alto a los factores de seguridad más bajos y serán de colores codificados de acuerdo con el factor de seguridad, que en un principio se asumirá para el retroanálisis en los casos aplicativos, buscando un factor de seguridad mayor a 1.3. Para el análisis pseudoestático se considerará un factor de seguridad igual a 1.1.

4.7 Método de Modelos Numéricos

A diferencia de los modelos de Equilibrio Límite, que únicamente pueden garantizar la estabilidad del talud, los métodos de modelos numéricos permiten estudiar el estado tensional de los elementos y sus respectivas deformaciones. Para resolver las limitaciones de los métodos de equilibrio límite se recurre a las técnicas de modelación numérica que obtienen soluciones aproximadas.

En la Tabla 10 se pueden mostrar los métodos numéricos según las categorías existentes.

Tabla 14

Métodos numéricos para la estabilidad de taludes

Método	Características	Utilización
Elementos Finitos (FEM)	Se asume una malla de elementos con sus respectivos nodos y las propiedades elastoplásticas de los materiales.	Se aplica a taludes que puedan considerarse como masas continuas sin bloques.

Diferencias Finitas (FDM)	Se elabora una malla con una variedad de relación esfuerzo-deformación.	Se utiliza para modelar masa rocosa con un alto grado de fracturación.
Elementos Distintos o Discretos (DEM)	El talud se divide en elementos con sus propiedades internas y de las uniones entre los elementos que se pueden mover libremente.	Se aplica para analizar inclinación de bloques.
Elementos de Borde (BEM)	Se discretizan las áreas para poder modelar la ocurrencia de agrietamientos en el talud.	Se utiliza para estudiar problemas de propagación de grietas.

Fuente: Por Suárez (2009), modificado de Deangeli y Ferrero (2000)

El problema por estudiar debe de ser discretizado mediante una malla. Los parámetros geotécnicos del suelo tales como cohesión (c), ángulo de fricción (ϕ), módulo de Elasticidad (E) y coeficiente de Poisson (ν), deben de estar establecidos junto a las condiciones iniciales del estado tensional del terreno y la presencia de nivel freático. Posteriormente, se simula la secuencia constructiva.

4.7.1. Método de Elementos Finitos

El método de Elementos Finitos fue introducido en 1967 por Clough y Woodward. Consiste básicamente en dividir la masa del suelo en una serie de unidades discretas conocidas como elementos finitos, donde cada una de ellas está definida a su vez por una serie de puntos llamados nodos. Es posible que un nodo pertenezca a uno o más elementos finitos y tiene la finalidad de describir la distribución de incógnitas dentro del elemento y conectar todos los elementos dentro de un dominio, asegurando la compatibilidad de éstos. Se entiende como malla de elementos finitos al conjunto de nodos y elementos. (Figura 18). La solución del problema se basa en aproximaciones numéricas a las ecuaciones de equilibrio, esfuerzo-deformación y deformación-desplazamiento (Urrutia, 2008).

Figura 19. Esquema del proceso de discretización mediante el método de elementos finitos

Fuente: Extraído del curso de Mecánica computacional de Geotecnia, introducción al método de los elementos finitos, citado en Díaz (2008).

Para poder crear el modelo matemático se elaboran ecuaciones de equilibrio de esfuerzos en cada punto, compatibilidad y relaciones constitutivas; de manera que se construye así un sistema de ecuaciones. Es necesario emplear la teoría elástica para poder representar los esfuerzos y deformaciones que permiten describir el comportamiento del objeto bajo análisis. El sistema deberá ser resuelto mediante álgebra lineal o algún método no lineal.

Existen diversos sistemas de elementos finitos con distintos programas computacionales. Se puede recurrir a esta técnica tanto para estudiar la posibilidad de falla de un talud o para analizar los efectos de sistemas de estabilización en estudios. El mayor aporte de los elementos finitos es el modelado en 3D, el cual permite el análisis de la estabilidad de taludes en condiciones que el método de Equilibrio límite no permite (Suarez, 2009).

En un sistema se puede distinguir lo siguiente (Figura 19):

- Dominio: Espacio en donde se analiza el sistema. Se divide mediante la discretización de rectas (una dimensión), triángulo o cuadrilátero (dos dimensiones) y un cubo (tres dimensiones).
- Condiciones de contorno: Variable que condicionan el cambio del sistema al ser conocidas.
- Incógnitas: Variables desconocidas a descubrir después que las condiciones de contorno actúan sobre el sistema.

Figura 20. Descripción de los elementos del modelo matemático para el método de elementos finitos

Fuente: Extraído del curso de Mecánica computacional de Geotecnia, introducción al método de los elementos finitos, citado en Díaz (2008)

Para solucionar el problema, el dominio se divide en tres formas dependiendo del caso. Si es lineal mediante puntos, bidimensional mediante líneas y tridimensional mediante superficies imaginarias. El número de nodos son las incógnitas que deben de hallarse donde el número de ecuaciones será proporcional. Resolviendo este sistema se obtendrá el comportamiento de cada elemento que será resuelto al juntarlo como un todo (Suárez, 2006).

El dominio se puede dividir de tres formas dependiendo del caso (Figura 20). Puede ser lineal mediante puntos, bidimensional mediante líneas y tridimensional mediante superficies imaginarias.

Figura 21. Tipos de dominios

Fuente: Extraído del curso de Mecánica computacional de Geotecnia, introducción al método de los elementos finitos, citado en Díaz (2008)

4.7.2. Ventajas y desventajas del método de los Elementos Finitos

Las ventajas de utilizar este método es que se puede considerar el comportamiento no lineal de los materiales en la totalidad del dominio. Los elementos no tienen un tamaño determinado, lo cual permite que la malla sea expandida o refinada donde se requiera.

Es un método que puede modelar la secuencia constructiva incluyendo la instalación de refuerzos y sistemas de estructura en un cuerpo compuesto por diferentes materiales.

La limitante del método es depender de un programa computacional, ya que requiere de tiempos prolongados y capacidades altas de memoria por los cálculos necesarios para hallar las variables planteadas en el análisis.

4.7.3. Herramienta computacional de análisis Plaxis (Versión Estudiantil)

El software PLAXIS se basa en el Método de los Elementos Finitos, está diseñado para el análisis de deformaciones y estabilidad en problemas geotécnicos. Con el paso de los años, Plaxis creció para cubrir mayores áreas de la ingeniería geotécnica, donde se puede analizar los taludes, túneles, geomallas, entre otras.

Para predecir el comportamiento de un sistema, se aplican conceptos de física, química y matemática que conjuntamente formulan un modelo matemático. Un modelo es un sistema de ecuaciones con magnitudes que permitirán describir el comportamiento de un objeto luego de resolver las ecuaciones, y analizar los resultados. Debido a la complicación de soluciones analíticas, se recurre a modelos simplificados basados en resultados experimentales y en algunas soluciones matemáticas (Díaz, 2008).

Se seleccionará el tipo de modelo que simulará el material según el grado de precisión que sea el más adecuado. Luego se discretiza el modelo a través de una malla de elementos finitos, se asignan condiciones iniciales y se realizan los cálculos. Se pueden analizar problemas de deformación plana o con asimetría.

Entre los modelos que se pueden escoger para el problema, se encuentra el Hardening-Soil de plasticidad endurecible y el modelo elasto-plástico Mohr – Coulomb, el cual usaremos para la presente investigación.

4.7.3.1. Modelo Mohr-Coulomb

Se recurre a este modelo para analizar el comportamiento del suelo en general. El modelo involucra cinco parámetros: el módulo de Young (E), el coeficiente de Poisson (ν), la cohesión (c), el ángulo de fricción (ϕ) y el ángulo de dilatancia (ψ).

- Módulo de Young (E): es el módulo de rigidez del suelo, tiene dimensión de esfuerzo (fuerza por unidad de superficie).
- Coeficiente de Poisson (ν): Determinará la relación entre las deformaciones inmediatas vertical y horizontal. El parámetro será distinto dependiendo el tipo de suelo a modelar. Se sugiere el valor entre 0.2 y 0.5.
- Cohesión (c): Tiene dimensión de esfuerzo. Es una cualidad que poseen las partículas de mantenerse unidas en virtud de fuerzas internas.
- Ángulo de fricción (ϕ): Se especifica en grados. Se define como ángulo cuya tangente es la fuerza que resiste el deslizamiento a lo largo de un plano y la fuerza normal aplicada a dicho plano. Es un parámetro que depende de una gran cantidad de factores tales como la densidad, la permeabilidad, presión de consolidación y la presión normal o de confinamiento. Además, a mayor tamaño de partículas, el ángulo de fricción será mayor.
- Ángulo de dilatancia (ψ): Se debe especificar en grados. Es la deformación asociada con esfuerzos sísmicos de cortante.

5 DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN

5.1 Generalidades

En este capítulo se desarrolla la investigación, se explica la estrategia de análisis junto al procedimiento del modelamiento, utilizando lo investigado para las características del suelo y otros parámetros considerados para el análisis de los taludes de la rampa de acceso.

Como primera parte, se lleva a cabo un registro de la situación actual de las rampas de acceso a obra según lo comentado por ingenieros y responsables de empresas de movimiento de tierras, para conocer más la problemática a la que se afronta.

Luego se lleva a cabo un “back análisis” de una rampa de acceso que se conoce que no ha fallado con las características actuales, asumiendo una superficie de falla que cumpla con un factor de seguridad mínimo para el caso estático de 1.3 y para el caso pseudodinámico 1.1.

A partir de los resultados obtenidos en el procedimiento anterior, se procedió a realizar el análisis de estabilidad en el programa Slide y Plaxis. La metodología consistió en analizar el talud variando la inclinación entre un rango de 50° a 80° , es decir, de una relación de 1V:0.8H a 1V:0.2H, para unas determinadas características del conglomerado de Lima obteniendo una estabilidad global para condiciones estáticas y pseudodinámicas, a partir de dos métodos diferentes.

5.2 Situación actual en la ciudad de Lima

Para esta investigación, se realizó un estudio de lo ejecutado en la ciudad de Lima en obras donde se contemplaba una rampa de acceso en etapa de excavación. En su mayoría, los ingenieros residentes de obra y representantes de empresas de movimiento de tierra sostienen que no es habitual contar con un registro de las rampas de acceso. Generalmente no se realiza un registro topográfico ni fotográfico de las rampas de acceso.

Para los ingenieros, antes de dar inicio a una obra, en la etapa de planeamiento se propone un talud de acuerdo a las características del suelo, pero es muy general, es realmente para tener una aproximación de las partidas que estarán influenciadas. En la construcción de la obra el talud podría ser modificado según se requiera. Para el caso de la empresa de movimiento de tierras, a ellos les conviene tener mayor material de excavación, es decir, una rampa más vertical que no ocupe mayor espacio en obra.

La escasez de registros de las rampas de acceso dificultó la recopilación de datos de obras ejecutadas, sin embargo, expertos en el área de excavación de sótanos para edificaciones

proporcionaron fotografías de algunas obras realizadas en la ciudad de Lima en los últimos años. Cabe resaltar que son de obras de la ciudad de Lima más no en su totalidad del propio conglomerado, pero servirán de referencia para conocer cómo se ejecutan las obras actualmente. En el anexo N° 5 se muestra mayor recopilación de obras.

Figura 22. Obra 1 ubicada en el conglomerado de Lima

Fuente: RGB Movimiento de tierras

La imagen anterior fue proporcionada por la empresa RGB Movimiento de Tierras, especialista en el área del mismo nombre, líder dentro del rubro y que ha sido participe de múltiples obras de gran excavación en la ciudad de Lima. Se puede visualizar la rampa con un talud del terreno natural que debido a la profundidad a la que ha llegado requiere de un sistema de apoyo para la extracción del material. En este caso hace uso de una excavadora que acumula el material en la parte inferior de la rampa para que la excavadora de la parte superior pueda extraerlo. Hay otros métodos que podrán ser visualizados en los anexos.

Figura 23. Obra 2: Edificio en Augusto Tamayo 118 en San Isidro

Fuente: RGB Movimiento de tierras

Si el área lo permite, se conforma una doble rampa para la circulación de la maquinaria. Se optó por esta situación ya que es gran volumen de excavación que debe ser eliminado, sin embargo, resulta ser de mayor necesidad el análisis del talud para que no afecte al consecuente.

Figura 24. Obra 3: Edificio More realizado en el distrito de Surco

Fuente: RGB Empresa de movimiento de tierras.

De acuerdo a la necesidad, se construye la rampa de acceso con mayor profundidad. La excavación del Edificio More es una de las obras con mayor profundidad realizadas en la ciudad (38.00m), en la cual se optó por una doble rampa para el acceso de maquinaria. La rampa tenía un flujo constante de entrada y salida de maquinaria pesada.

Generalmente la rampa varía de posición en la obra conforme se da el avance de los muros anclados a ejecutar o de manera que no afecte a la productividad. No tendrán las mismas características la rampa del terreno natural que una modificada en una o más ocasiones desde el comienzo de la excavación, un ejemplo es la siguiente imagen. Sin embargo, es importante resaltar que la presente investigación está orientada a los taludes de terreno natural.

Figura 25. Edificio FASE DOS en Miraflores

Fuente: Ing. Luis Raygada Rojas

Como parte de una práctica propia de la empresa o del ingeniero de campo, en ocasiones se opta por una lechada de cemento simple al talud de la rampa para que no pierda la humedad natural del terreno. Asimismo, también se llega a optar por cubrir el talud con una malla raschel para evitar la caída de los cantos.

Figura 26. Obra 3 realizada en distrito de San Isidro

Fuente: Ing. Juan José Quispe

La siguiente imagen es la más representativa para esta investigación, puesto a que será utilizada para el retroanálisis posterior, ya que es una obra que gracias al área y distribución del terreno pudo hacer uso de la rampa del terreno natural hasta el sótano 4 (14 metros de profundidad).

Figura 27. Edificio Nuevo Mundo realizado en el distrito de Miraflores

Fuente: Ingeniero Luis Raygada Rojas

Con el fin de complementar el estudio, se realizó una encuesta (Figura 28 modelo) a especialistas que han trabajado en obras de excavación profunda.

UNIVERSIDAD PERUANA DE CIENCIAS APLICADAS
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
PROGRAMA ACADÉMICO DE INGENIERÍA CIVIL

Nombre	
Empresa	
Cargo	

Rampas de acceso a obra para maquinaria en excavaciones profundas

Ítem	Pregunta	Respuesta
1	¿Trabaja o ha trabajado en Obras en Lima Metropolitana?	
2	¿En cuántas obras aproximadamente?	
3	¿Cuál es la profundidad máxima a la que ha llegado?	
4	¿De cuántos sótanos?	
5	¿Considera la grava de Lima un material bueno para la construcción?	
6	En las obras de excavación profunda, ¿en cuántas utilizó una rampa de acceso para los vehículos?	
7	¿Conoce si siguen alguna normativa o parámetros para su construcción?	
8	¿Cuáles son estas normativas y/o recomendaciones para las rampas?	
9	De ser el caso no, ¿en que basan las decisiones para la construcción de estas rampas?	
10	¿Quién es el encargado de tomar la decisión con respecto a estas medidas?	
11	¿Qué talud se utiliza generalmente?	
12	¿Qué pendiente se utiliza generalmente?	
13	¿Cuál es el ancho de la rampa?	
14	¿Cuál es la maquinaria más pesada que circula por la rampa?	
15	¿Alguna indicación adicional acerca de la rampa?	

Figura 28. Encuesta modelo

Fuente: Elaboración propia

En la totalidad, los ingenieros consideran la grava de Lima un material excelente para la construcción donde en el 95% de obras se requiere de rampas de acceso. Afirman que no hay una normativa para esta estructura y que se opta por un talud de 1 en 2 o incluso 1 en 4, dependiendo de la obra. Con respecto al ancho de la rampa, generalmente se utiliza de 4 a 5 metros y se tiene una pendiente común de 15% aproximadamente.

5.3 Estrategia de análisis

Las características de la estructura provisional tendrán en cuenta lo siguiente:

- **Sobrecarga:** la sobrecarga actuante en el talud representa la posible mayor carga contemplada luego de analizar la maquinaria que interviene en una obra de este tipo. Con respecto a la aplicación de cargas, se tomó en cuenta la maquinaria que es usual utilizar en obras de excavación para edificaciones en la ciudad. Entre ellas se encuentran las mostradas en la Tabla 15 con su respectivo peso de trabajo.

Tabla 15

Maquinaria común a utilizar en la obra de edificación

Equipo	Peso de trabajo (t)	Be (m)	Le (m)	Ae (m ²)	σ_{act} (t/m ²)	σ_{act} (kN/m ²)
CG-01	15.146	2.675	4.701	12.58	1.20	11.82
CG-02	6.465	1.985	4.651	9.23	0.70	6.87
EX-01	20.80	2.50	4.12	10.30	2.02	19.81
EX-02	26.35	2.99	4.25	12.71	2.07	20.34
EX-03	29.70	3.20	4.94	15.81	1.88	18.43
VT-01	20.00	2.50	6.66	16.65	1.20	11.78
VT-02	41.00	2.50	6.52	16.31	2.51	24.66
VT-03	40.00	2.50	6.42	16.05	2.49	24.45
VT-04	51.00	2.50	7.58	18.95	2.69	26.40

Fuente: Elaboración propia

La maquinaria más pesada es la del volquete, se aplicará una carga de 26.40 kN/m².

- **Condición de análisis:** luego de la revisión de normativas para el factor de seguridad a considerar, para la condición estática se tendrá un FS=1.30 y FS=1.1 para condición pseudodinámica.
- No habrá presencia de agua en la zona a estudiar, no se encontró el nivel freático en los ensayos observados.

5.4 Retroanálisis

Para el estudio se partió con el modelamiento de la rampa de la Figura 27, la cual durante todo su uso presentó taludes estables sin recurrir a ninguna clase de sostenimiento. Tal como se pudo observar, se caracterizó por tener taludes de una inclinación mayor a 60°, lo cual es muy vertical si lo comparamos con la profundidad que se llegó a tener.

De esta manera, se realiza el análisis para hallar el par de valores de cohesión y ángulo de fricción que cumplan con las consideraciones mínimas propuestas de estabilidad y, a su vez, se observe la influencia de la variación entre el rango de valores de los parámetros del suelo.

El modelamiento es realizado mediante el programa Slide versión 6.0 basado en el método de equilibrio límite. Para el presente análisis se utilizó el método propuesto por Morgenstern y Price.

Como consideraciones del análisis se tiene que el material es homogéneo y la sección analizada es la más crítica. Tal como se nombró en el apartado de estrategias de análisis, se aplicó una carga de 26.40 kN/m².

El procedimiento consistió en fijar un ángulo de fricción, donde se tendrán valores de ϕ entre 38° a 48°, e ir variando la cohesión desde 25 a kPa a 45 kPa, hasta obtener un factor de seguridad mayor a 1.3 en estático y 1.1 en pseudodinámico. El talud de la rampa tiene una relación de 1V:0.5H, donde la profundidad alcanza los 14.80 m, y el ancho de rampa es de 6 m. Los resultados se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 16

Análisis retrospectivo para talud de 14.80 m inclinado 65°

ϕ	c	FS _e	FS _p	ϕ	c	FS _e	FS _p	ϕ	c	FS _e	FS _p
38	25	1.12	0.94	40	25	1.17	0.98	42	25	1.22	1.02
	30	1.22	1.03		30	1.27	1.07		30	1.32	1.11
	35	1.31	1.11		35	1.36	1.15		35	1.41	1.20
	40	1.40	1.19		40	1.45	1.23		40	1.51	1.28
	45	1.49	1.26		45	1.54	1.31		45	1.60	1.35
ϕ	c	FS _e	FS _p	ϕ	c	FS _e	FS _p	ϕ	c	FS _e	FS _p
44	25	1.27	1.06	46	25	1.32	1.10	48	25	1.38	1.15
	30	1.37	1.16		30	1.43	1.20		30	1.49	1.24
	35	1.47	1.24		35	1.53	1.28		35	1.59	1.33
	40	1.56	1.32		40	1.62	1.37		40	1.69	1.42
	45	1.65	1.40		45	1.71	1.45		45	1.78	1.51

Fuente: Elaboración propia

De los resultados obtenidos se obtuvo que el par de valores mínimos que cumplirían con la estabilidad global sería una grava de cohesión mínima de 35 kPa y fricción de 38°. Al comparar estos resultados con los ensayos a gran escala realizados se sostiene que son válidos, resultan ser parámetros característicos mínimos de la grava de Lima. Sin embargo, si bien se puede afirmar lo anterior, es posible que las gravas de esta zona se caractericen por tener valores mayores, de cohesión y de fricción, lo cual no estaría permitiendo tener una inclinación mayor del talud cumpliendo con la estabilidad global mínima mediante un análisis.

Figura 29. Modelamiento Retroanálisis Caso 1 Slide

Fuente: Elaboración propia

5.5 Metodología de análisis

5.5.1 Parámetros de diseño

En concordancia al apartado 2.6 Caracterización del material de la zona de análisis, en el cual se detallan los resultados de tres fuentes bibliográficas diferentes: estudios recopilados de múltiples investigaciones a gran escala, estudio realizado por Geodata para la línea 2 del Metro de Lima y 09 Estudios de mecánica de suelos recopilados. Esta sección tiene como objetivo presentar las propiedades del suelo que serán utilizadas para la presente investigación y mostrar un perfil estratigráfico que muestra las condiciones promedio.

Con los parámetros mínimos característicos del suelo conocidos por el retroanálisis, se procedió a modelar la rampa, pero ahora con diferentes estratos según la profundidad, los cuales fueron compatibilizados con los ensayos recopilados.

Figura 30. Perfil estratigráfico característico del Conglomerado de Lima

Fuente: Elaboración propia

De acuerdo a los resultados obtenidos de los ensayos, en el suelo gravoso característico de Lima se encuentran cuatro tipos de estratos, que es la misma grava que se torna más densa a medida que aumenta su profundidad. Para la presente investigación se tiene un suelo idealizado, puesto a que no se considerará la presencia de lentes de otros materiales.

5.5.2 Modelación en Slide

Con los parámetros determinados previamente, se procedió a realizar la corrida de estabilidad en el programa Slide variando el grado de inclinación de los taludes, en un rango de 50° a 80° equivalente a una relación de talud de 5V:1H a 5V:4H respectivamente. Para cada modelamiento se especificaba en qué sótano de construcción se encontraría la obra, es decir, si es el primer sótano de excavación el análisis sería a unos 3.50m de profundidad mientras que si se encuentra en el sótano 5 tendría 17.50 profundidad.

Se seguirá con la metodología del retroanálisis, donde se utilizó el método propuesto por Morgenstern y Price. La sección más crítica es la que se proyecta de la entrada de la rampa a la excavación, es decir, por donde ingresan los vehículos para bajar a la zona de excavación. Se aplicó la carga de 26.40 kN/m^2 que representa el vehículo más cargado. El ancho de la rampa será de 5 metros, siguiendo las recomendaciones nombradas anteriormente y considerando el ancho de la maquinaria a utilizar en una obra en Lima.

Figura 31. Modelación en Slide de Sótano 4 con α 50°

Fuente: Elaboración propia

Los resultados obtenidos son los que se muestran en la tabla siguiente, donde de acuerdo al sótano en que se encuentre la rampa y el ángulo de inclinación optado, se tendrá un factor de seguridad en condiciones estáticas y pseudodinámicas.

Tabla 17

Resultados obtenidos del análisis de estabilidad del talud en Slide según ángulo de inclinación y profundidad

α_t	T (m)	Sótano 1 3.50 m		T (m)	Sótano 2 7.00 m		T (m)	Sótano 3 10.50 m		T (m)	Sótano 4 14.00 m		T (m)	Sótano 5 17.50 m	
		F _{Se}	F _{Ssd}		F _{Se}	F _{Ssd}		F _{Se}	F _{Ssd}		F _{Se}	F _{Ssd}		F _{Se}	F _{Ssd}
50.00	2.90	2.50	2.13	5.90	2.08	1.75	8.80	1.84	1.53	11.70	1.77	1.47	14.70	1.68	1.38
55.00	2.50	2.35	2.02	4.90	1.91	1.63	7.40	1.68	1.42	9.80	1.62	1.35	12.30	1.52	1.27
60.00	2.00	2.08	1.82	4.00	1.77	1.52	6.10	1.55	1.31	8.10	1.48	1.25	10.10	1.39	1.17
65.00	1.60	1.92	1.69	3.30	1.63	1.41	4.90	1.42	1.22	6.50	1.35	1.15	8.20	1.27	1.07
70.00	1.30	1.81	1.60	2.50	1.50	1.31	3.80	1.31	1.12	5.10	1.24	1.05	6.40	1.17	0.99
75.00	0.90	1.73	1.52	1.90	1.39	1.23	2.80	1.20	1.03	3.80	1.13	0.96	4.70	1.06	0.89
80.00	0.60	1.61	1.43	1.20	1.28	1.19	1.90	1.10	1.00	2.50	1.03	0.87	3.10	0.96	0.89

Fuente: Elaboración propia

5.5.3 Modelación en Plaxis

Se lleva a cabo un análisis esfuerzo-deformación del suelo mediante la herramienta PLAXIS para obtener las deformaciones provocadas por la carga aplicada a la estructura mediante el uso del modelo Mohr Coulomb.

El talud se modela a través de una malla de elementos finitos donde se caracteriza el material según los resultados anteriores. PLAXIS es un programa basado en elementos finitos que discretiza la estructura modelada en una serie de elementos a través de unos puntos llamados nodos. En cada elemento se cumplen unas ecuaciones de elasticidad planteadas según un modelo determinado, el cual estará en función de los valores de los movimientos y tensiones en los nodos. Se resuelve un sistema lineal donde se involucra una ecuación entre la matriz de rigidez del problema, el vector de cargas conocido y los movimientos en los nodos. El desarrollo del método de Elementos Finitos es de gran complejidad debido a las formulaciones que se generan, lo cual está fuera del alcance planteado para la presente investigación.

El modelo considerará la fase donde se aplica la carga de tránsito de maquinaria, sin embargo, el programa permite considerar las diferentes fases de construcción del proceso de excavación.

Para los parámetros dinámicos de las Gravas de Lima se han analizado los resultados de los ensayos presiométricos y las velocidades de ondas de corte obtenidos en estudios de mecánica de suelos. En base a las recomendaciones recopiladas de la literatura se tienen los siguientes parámetros para la modelación en Plaxis:

Tabla 18

Parámetros característicos utilizados en la modelación en Plaxis

Tipo de Suelo	γ (kN/m ³)	c (kN/m ²)	ϕ (°)	k	μ	E (MPa)	Ψ (MPa)
Grava Suelta	19.00	20.00	36.00	0.260	0.30	106	6
Grava Medianamente Densa	21.00	30.00	38.00	0.238	0.30	317	8
Grava Densa	22.00	40.00	40.00	0.217	0.30	695	10
Grava Muy Densa	22.00	50.00	42.00	0.198	0.30	830	12

Fuente: Elaboración propia

A partir de ello, se inicia la modelación en el software. En la figura siguiente se observa la generación de mallas de elementos finitos.

Figura 32. Malla de elementos finitos en el Sótano 4 en Plaxis

Fuente: Elaboración propia

Se llevó a cabo un análisis plástico, el cual nos permite conocer la deformación elástico-plástica del suelo que es la recomendada para la mayoría de aplicaciones geotécnicas prácticas. Se obtuvo los siguientes resultados:

Figura 33. Desplazamientos totales en la modelación del Sótano 5 en Plaxis

Fuente: Elaboración propia

Un desplazamiento total de $1.75 * 10^{-3}$ para el análisis del sótano 5 con un ángulo de inclinación de 55° . Se encontraría dentro de lo aceptable puesto a que es una deformación mínima pero no hay un rango que determine si lo es realmente.

A partir de la opción de cálculo de reducción ϕ/c , se obtiene un factor de seguridad de una probable superficie de falla y desplazamientos que dan una inducción al probable mecanismo de falla, como se observa en las siguientes figuras.

Figura 34. Representación de la superficie de falla generada en el sótano 5 en Plaxis

Fuente: Elaboración propia

Figura 35. Factor de seguridad obtenido en Plaxis para el Sótano 5

Fuente: Elaboración propia

Este procedimiento fue realizado para los mismos casos que el programa Slide y las deformaciones obtenidas fueron medidas en m. Se resume lo obtenido a continuación.

Tabla 19

Resultados obtenidos de la modelación en Plaxis según ángulo de inclinación y profundidad

α_t	T (m)	Sótano 1 3.50 m		T (m)	Sótano 2 7.00 m		T (m)	Sótano 3 10.50 m		T (m)	Sótano 4 14.00 m		T (m)	Sótano 5 17.50 m	
		Fs _e	Δ (m)		Fs _e	Δ (m)		Fs _e	Δ (m)		Fs _e	Δ (m)		Fs _e	Δ (m)
50.00	2.90	2.33	0.0007	5.90	2.07	0.0010	8.80	1.82	0.0013	11.70	1.75	0.0015	14.70	1.66	0.0016
55.00	2.50	2.21	0.0008	4.90	1.89	0.0010	7.40	1.67	0.0013	9.80	1.58	0.0015	12.30	1.57	0.0018
60.00	2.00	2.00	0.0008	4.00	1.74	0.0011	6.10	1.51	0.0013	8.10	1.43	0.0016	10.10	1.43	0.0000
65.00	1.60	1.85	0.0008	3.30	1.60	0.0011	4.90	1.38	0.0014	6.50	1.31	0.0018	8.20	1.23	0.0023
70.00	1.30	1.74	0.0008	2.50	1.45	0.0011	3.80	1.27	0.0015	5.10	1.19	0.0021	6.40	1.15	0.0000
75.00	0.90	1.57	0.0009	1.90	1.32	0.0011	2.80	1.16	0.0016	3.80	1.08	0.0026	4.70	1.07	0.0000
80.00	0.60	1.44	0.0009	1.20	1.21	0.0012	1.90	1.06	0.0021	2.50	-	0.0000	3.10	-	0.0000

Fuente: Elaboración propia

En la tabla anterior se muestran los factores de seguridad y las deformaciones halladas según las características geométricas adoptadas para cada situación. Se puede comprobar que el análisis del talud de una rampa dependerá de la profundidad de la obra que se esté estudiando, es decir, para una excavación de 4 sótanos sería conveniente considerar un ángulo de inclinación de 60° mientras que para una obra con 2 sótanos utilizar la misma relación de talud sería muy conservador. La deformación que se genera en una condición estática es de un valor mínimo, menor a 10 cm.

5.6 Discusión de resultados

Se realizó el análisis de estabilidad mediante Slide y Plaxis que se basan en métodos distintos, por un lado, el Método de Equilibrio Límite y por otro el Método de los Elementos Finitos. Es por ello, que no es correcto comparar los resultados obtenidos entre ambos métodos, pero sirven para tener una referencia en los resultados.

Con los parámetros geomecánicos del suelo, sobrecargas actuantes, cargas sísmicas y geometría de la excavación se realizó el análisis numérico donde se evaluaron los perfiles en diferentes etapas de excavación, puesto a que no todas las obras contemplan la misma cantidad a ejecutar de sótanos, y variando la relación del talud que se busca optimizar.

Por ejemplo, se podría permitir un talud más inclinado si es que la profundidad máxima a trabajar sería de 2 sótanos, para lo cual el talud tiene mayor estabilidad. A comparación de tener un talud más empinado cuando se tiene una mayor profundidad, donde será mayor la masa de tierra que podría ser inestable por las fuerzas que se generan. Se modelaron todas

las situaciones con el fin de conocer cómo se comporta la rampa. De los resultados obtenidos se obtuvo la siguiente tabla que resume las modelaciones realizadas.

Tabla 20

Factor de seguridad en relación al ángulo de inclinación y profundidad

	$\alpha_t = 50$		$\alpha_t = 55$		$\alpha_t = 60$		$\alpha_t = 65$		$\alpha_t = 70$		$\alpha_t = 75$		$\alpha_t = 80$	
	FS_e	FS_{sd}	FS_e	FS_{sd}	FS_e	FS_{sd}	FS_e	FS_{sd}	FS_e	FS_{sd}	FS_e	FS_{sd}	FS_e	FS_{sd}
Sótano 1	2.50	2.13	2.35	2.02	2.08	1.82	1.92	1.69	1.81	1.60	1.73	1.52	1.61	1.43
Sótano 2	2.08	1.75	1.91	1.63	1.77	1.52	1.63	1.41	1.50	1.31	1.39	1.23	1.28	1.19
Sótano 3	1.84	1.53	1.68	1.42	1.55	1.31	1.42	1.22	1.31	1.12	1.20	1.03	1.10	1.00
Sótano 4	1.77	1.47	1.62	1.35	1.48	1.25	1.35	1.15	1.24	1.05	1.13	0.96	1.03	0.87
Sótano 5	1.68	1.38	1.52	1.27	1.39	1.17	1.27	1.07	1.17	0.99	1.06	0.89	0.96	0.89

Fuente: Elaboración propia

La relación de talud que se utiliza actualmente en las obras ubicadas en el conglomerado de lima es muy variable, se encuentra desde taludes tendidos como 1V:1H que resultan ser conservadores para un material de este tipo hasta taludes 1V:0.5H que pueden sobre exigir la condición. La falta de regulación de normativa sobre las características que debería cumplir una rampa de acceso para ser segura y estable conlleva a que en cada obra los responsables sean los que tomen la decisión con respecto a estas medidas. En la mayoría de casos, el talud de la rampa podría tener una mayor inclinación sin considerar un tipo de sostenimiento, tan solo por las mismas características del suelo. Con los resultados presentados, se valida que mediante un retroanálisis realizado a diferentes profundidades en la que se presenta una rampa con taludes son provisionales es posible tener una optimización del grado de inclinación que cumpla con una estabilidad global mínima.

La investigación realizada buscó tener una idea amplia sobre la estabilidad de los taludes provisionales que se generan en una obra, basados en un modelamiento realizado. Sin embargo, es importante recalcar que el estudio está condicionado a la caracterización geotécnica presentada. Los valores hallados podrían ser una orientación para aquellas obras que se realicen en los distritos de San Isidro, Miraflores y Surco. El conglomerado de Lima es el suelo característico de la ciudad, sin embargo, es posible que incluso en estos distritos se encuentren lentes de arcilla y arena, lo que sería materia para un nuevo análisis. Se debe tener presente que no es un valor certero de la estabilidad, puesto a que para ello se requerirían de las condiciones reales del suelo tanto con las características geotécnicas, físicas, químicas y mecánicas como la aplicación de las cargas sísmicas.

6 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1 Conclusiones

Se puede concluir que mediante un análisis de estabilidad se optimiza el grado de inclinación de los taludes provisionales que conforman una rampa de acceso sin sostenimiento en el Conglomerado de Lima. En la actualidad, las rampas en excavaciones no tienen un talud normado o recomendado, lo que conlleva a que varíen desde taludes tendidos como 1V:1H hasta taludes 1V:0.5H, sin embargo, se pueden presentar situaciones diferentes a lo largo de la ciudad. Cabe señalar que no es común realizar un análisis de estabilidad de taludes para las rampas de acceso en las obras en nuestro país.

La estabilidad de los taludes está condicionada a la caracterización geotécnica del material gravoso y a las condiciones hipotéticas referidas para el análisis. La presente investigación permitió la optimización de los taludes bajo las condiciones explicadas en el capítulo de parámetros de la ciudad de Lima, así como el factor de seguridad considerado mínimo según la normativa y bajo criterio adoptado.

El análisis de la inclinación de un talud dependerá de la profundidad que tendrá la obra y las condiciones que se presenten en ella. La aplicación de las sobrecargas actuantes en el talud está relacionada a los equipos usados en la excavación, de acuerdo a la magnitud de la obra se requerirá un equipo u otro. Asimismo, el ancho de la rampa y la pendiente que debería tener es materia para futuras investigaciones.

Esta tesis busca dar una orientación a aquellos proyectos que contemplen una rampa de acceso para el tránsito de maquinaria a la obra en la ciudad de Lima Metropolitana, en el conglomerado de Lima, sin embargo, está limitado a las zonas que tengan las mismas características consideradas para los estratos estudiados.

6.2 Recomendaciones

- El ancho de una rampa de acceso a una excavación debe tomar en cuenta dimensiones mínimas de seguridad, entre las cuales se encuentran: ancho para el tránsito peatonal de los trabajadores de la obra y el espacio para la señalización de seguridad a ambos lados de la rampa.
- Se recomienda analizar como influye la variación de los parámetros geotécnicos en la estabilidad de los taludes, ya que las propiedades del suelo pueden variar de un sitio a otro a pesar de pertenecer al conglomerado de Lima. El análisis variando los parámetros de los estratos que conforman el suelo según las obras ubicadas en diferentes distritos es materia de investigación para futuros proyectos de tesis. Una mayor cantidad de datos permitirá obtener una correlación entre la influencia de la caracterización del material y la estabilidad del talud.
- Se recomienda tener en cuenta que el factor de seguridad debe contemplar que la información del suelo gravoso no es exacta, sino referencial. La estabilidad de un talud está vinculada al interés económico y social de la obra.
- Se recomienda analizar la influencia de la pendiente de la rampa de acceso en la estabilidad de los taludes provisionales de una obra.
- Se debe tener en cuenta que los programas computacionales son sólo una herramienta, para la cual es importante tener criterio como ingenieros para poder evaluar una situación correctamente.

7 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Asociación Chilena de Seguridad (s.f.). *Control de Riesgos en Excavaciones*.

Alva, J., Meneses, M., Martínez, J., & Huamán, C. (1991). Avances en la microzonificación sísmica de Lima, Perú. [Fourth International Conference on Seismic Zonation, August 26th – 29th, 1991 Stanford University]. California: USA.

Arellano, R., Bielefeldt, J., & Correa, D. (s.f.). *Análisis de taludes mediante ensayos y back análisis de fallas*. Recuperado de: https://www.u-cursos.cl/diplomados/2009/2/DMS-TFD/1/material_docente/bajar?id_material=264950

Azorin, R. (2014). *Análisis de Estabilidad de Taludes mediante técnicas de modelación numérica en 3D utilizando Plaxis 3D Foundation*. (Trabajo de diploma, Universidad Central Marta Abreu de las Villas, Facultad de Construcciones. Villa Clara: Cuba). Recuperado de: <http://dspace.uclv.edu.cu/handle/123456789/2544?show=full>

Anejo Nacional Español del Eurocódigo 7. Jose Estairé, Fernando Pardo de Santayana y Áurea Perucho

Baltodano, R. (2013). *Mecánica de Suelos II*. [Instituto Tecnológico de Costa Rica]. San Pedro: Costa Rica.

Carrillo, A. (1979). Estabilidad y Resistencia del conglomerado de Lima metropolitana. *Revista El ingeniero civil*, Vol. I.

Chahua, L. (2010). *Consideraciones sobre los acantilados de Miraflores ante la carga de las edificaciones*. (Tesis de Título, Universidad Nacional de Ingeniería, Facultad de Ingeniería Civil. Lima: Perú). Recuperado de: http://cybertesis.uni.edu.pe/bitstream/uni/3174/1/chahua_cl.pdf

CISMID. (2012). Mapa de suelos en la ciudad de Lima [Mapa]. Recuperado de <https://sinia.minam.gob.pe/mapas/mapa-suelos-distritos-lima>

Coll, J. (2017). Investigación geotécnica para la red del Metro de Lima. *Perfiles de Ingeniería (Universidad Ricardo Palma)*, N°13, 25-33.

Díaz, J. (2008). *Estabilización del talud de la Costa Verde en la zona del distrito de Magdalena*. (Tesis de Título, Pontificia Universidad Católica del Perú, Facultad de Ciencias e Ingeniería, Ingeniería Civil. Lima: Perú). Recuperado de:

http://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/bitstream/handle/123456789/7119/DIAZ_JAVIER_ESTABILIZACION_TALUD_COSTA_VERDE_MAGDALENA.pdf?sequence=1

De la Hoz, K. (2007). *Estimación de los parámetros de resistencia al corte en suelos granulares gruesos*. (Tesis de Maestría, Universidad de Chile, Facultad de Ciencias físicas y matemáticas. Santiago de Chile: Chile). Recuperado de: <http://repositorio.uchile.cl/handle/2250/102894> [Consulta: 1 de octubre de 2018]

De Matteis, A. (2003). *Geología y Geotecnia. Tema: Estabilidad de taludes* (Trabajo de investigación, Universidad Nacional de Rosario, Facultad de Cs. Exactas, Ingeniería y Agrimensura. Rosario: Argentina). Recuperado de: <https://www.fceia.unr.edu.ar/geologiaygeotecnia/Estabilidad%20de%20Taludes.pdf> [Consulta de: 1 de octubre de 2018]

Estaire, J y Olivenza, G (2013) Factores e seguridad en la estabilidad de taludes de acuerdo con el Eurocódigo EC-7 y el anejo nacional español. VIII Simposio Nacional sobre Taludes y Laderas Inestables, Palma de Mallorca, junio 2013

Guía Técnica para la evaluación y prevención de los riesgos relativos a las obras de construcción 2da Edición Marzo 2012 Ministerio de empleo y seguridad social / Instituto Nacional de Seguridad e higiene en el trabajo.

Gutiérrez, A. (2016). Control de los factores de seguridad y desplazamiento en las estructuras de contención de los taludes de excavación mediante el método de elementos finitos y teoría del equilibrio límite. (Tesis de Maestría, Universidad Industrial de Santander, Facultad de Ingeniería físico - mecánicas. Bucaramanga: Colombia). Recuperado de: <https://www.ingeotecnia.com.co/cied/Control-de-los-factores-de-seguridad-y-desplazamientos-Anyi-Gutierrez.pdf>

González de Vallejo, L., Ferrer, M., Ortuño, L., & Oteo, C. (2002). Ingeniería Geológica. Madrid: Pearson Educación. Recuperado de https://www.u-cursos.cl/usuario/c19094b1ea89f1f08e243796b671e2e5/mi_blog/r/Ingenieria_Geologica_-_Gonzalez_de_Vallejo.pdf

Maggiolo, R. (1969). Características del Suelo de Cimentación de Lima Central (y Alrededores), Aspectos Geológicos Generales y el Comportamiento de los Suelos ante

los Sismos en Relación a las Estructuras. [I Congreso Nacional de Sismología e Ingeniería Antisísmica]. Lima: Perú.

Martínez, A. (2001). *Estabilidad de taludes de la Costa Verde*. Manual de Campo para Maestría en Ingeniería Civil, Universidad Nacional de Ingeniería. Lima: Perú.

Martínez, A. (2007). *Conglomerado de Lima Metropolitana en Cimentaciones*. [Conferencia Internacional en Ingeniería Sísmica 20,21 y 22 de agosto]. Lima: Perú.

Martínez, R., Barrera, S. y Gómez, P. (2011) El método pseudoestático de estabilidad en presas: un análisis crítico. *Obras y Proyectos* 9, 30 -37. 2011

Ministerio de la Vivienda – España. (1976). Norma Tecnológica NTE-ADZ/1976: “Acondicionamiento del terreno. Desmontes: Zanjas y pozos”. Orden de 29.12.1976.

Moscozo, L. (2011). Metodología para la ejecución y control de excavaciones en sótanos para edificios. (Tesis de Título, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería. Guatemala: Guatemala). Recuperado de: http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08_3277_C.pdf [Consulta de: 1 de octubre de 2018]

Norma Tecnológica de la Edificación. Acondicionamiento del terreno. Desmontes. Vaciados (NTE-ADV/1976).

Pacheco, A. (2006). Estabilización del talud de la Costa Verde en la zona de San Isidro. (Tesis de Título, Pontificia Universidad Católica del Perú, Facultad de Ciencias e Ingeniería, Ingeniería Civil. Lima: Perú). Recuperado de: <http://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/handle/123456789/969>

Pérez, E. (2005). *Estabilidad de Taludes*. Edición 2005. España: Universidad Politécnica de Cataluña. Recuperado de https://portal.camins.upc.edu/materials_guia/250339/2015/Tema5--Taludes.pdf [Consulta de: 1 de octubre de 2018]

Raygada, L. (2011). *Análisis de estabilidad y deformaciones en el Acantilado de la Costa Verde*. (Tesis de Título, Universidad Nacional de Ingeniería, Facultad de Ingeniería Civil. Lima: Perú). Recuperado de: <http://cybertesis.uni.edu.pe/handle/uni/3480>

- Sánchez, S., Rodríguez, J., López, J., Laina, C., & Jiménez, Á. (2016). *Caracterización de los suelos granulares gruesos. El caso de la Grava de Lima*. [X Simposio Nacional de Ingeniería Geotécnica y 5ta Jornada Luso-Españolas de Geotecnia]. La Coruña: España.
- Shuan, L. (2011). *Investigación de la matriz en las gravas del Perú Modelo Grava de Ventanilla*. (Tesis de Maestría, Universidad Nacional de Ingeniería, Facultad de Ingeniería Civil. Lima: Perú). Recuperado de: http://cybertesis.uni.edu.pe/bitstream/uni/818/1/shuan_ll.pdf
- Suárez, J. (2009). *Deslizamiento: Análisis Geotécnico*. Colombia: U. Industrial de Santander. Recuperado de <http://www.erosion.com.co/deslizamientos-tomo-i-analisis-geotecnico.html>
- UPC COMMONS (s.f). *Metodología*. Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos de Barcelona (ETSECCPB). Barcelona: España. Recuperado de <https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/6529/05.pdf?sequence=6&isAllowed=y>
- Urrutia, P. (2008). *Análisis Dinámico de Estabilidad por Elementos Finitos de los Taludes de la Costa Verde en el Distrito de Miraflores*. (Tesis de Título, Pontificia Universidad Católica del Perú, Facultad de Ciencias e Ingeniería, Ingeniería Civil. Lima: Perú). Recuperado de: <http://hdl.handle.net/20.500.12404/1065>
- Valiente, R., Sobrecases, S y Díaz, A () Estabilidad de Taludes:Conceptos básicos, parámetros de diseño y métodos de cálculo. REVISTA CIVILIZATE N° 7, 2015
- Verdugo, R., & De la Hoz, K. (2006). Caracterización geomecánica de suelos granulares gruesos. *Revista de Internacional de Desastres Naturales, Accidentes e Infraestructura Civil*, 6 (2), 199-214.
- Vizurraga, C. (2002). *Estudio de vulnerabilidad sísmica de edificaciones del distrito de Barranco*. (Tesis de Título, Universidad Nacional de Ingeniería, Facultad de Ingeniería Civil. Lima: Perú). Recuperado de: <http://cybertesis.uni.edu.pe/handle/uni/3038> [Consulta: 1 de octubre de 2018]

Tavera, H., Bernal, I., Condori, C., Ordaz, M., Zevallos, A., & Ishizawa, O. (2014). Re-Evaluación del peligro sísmico probabilístico para el Perú (Proyecto en Cooperación con el Banco Mundial). Lima: Perú.

Yauri, S. (2017). Escenario sísmico para Lima Metropolitana y Callao: Sismo 8.8 Mw.

ANEXO 1: RESULTADOS DE LOS ESTUDIOS DE MECÁNICA DE SUELOS RECOPIADOS

UNIVERSIDAD PERUANA DE CIENCIAS APLICADAS
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
PROGRAMA ACADÉMICO DE INGENIERÍA CIVIL

Tesis : Optimización del grado de inclinación de taludes provisionales sin sostenimiento en el Conglomerado de Lima mediante la técnica de Retroanálisis basado en el método de equilibrio límite

Código : 01-EMS

Descripción : Estudio de Mecánica de Suelos con fines de cimentación del "Centro Empresarial El Derby"

Solicitante : Centro Empresarial El Derby S.A.

Ubicación : Jr. El Polo y Av. El Derby

Distrito : Santiago de Surco

Año : 2007

Tabla N° 1 Resumen de Calicatas de Exploración

Calicata	Prof. (m)
C-1	10.00
C-2	5.00
C-3	10.00
C-4	5.00
C-5	5.00
C-6	5.00

Tabla N° 2 Resumen de resultados de Ensayos de Laboratorio

Calicata	Muestra	Prof. (m)	SUCS
C-01	M-1	3.00-4.00	GP
C-01	M-2	6.80-8.80	GP
C-02	M-1	3.00	GP
C-03	M-3	0.20-1.30	CL-ML
C-03	M-4	1.30-2.70	GP

Tabla N° 3 Resumen de los Resultados del Ensayo de Refracción Sísmica

Línea sísmica	Longitud	Estratos	Vp (m/s)	Profundidad (m)
LS-1	96.00	3	418	0-2.80
			1166	2.80-13.30
			1663	>13.30
LS-2	96.00	3	472	0-2.40
			1139	2.40-13.80
			1650	>13.80
LS-3	72.00	3	428	0-2.10
			1126	2.10-10.00
			1443	>10.00

UNIVERSIDAD PERUANA DE CIENCIAS APLICADAS
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
PROGRAMA ACADÉMICO DE INGENIERÍA CIVIL

Tesis : Optimización del grado de inclinación de taludes provisionales sin sostenimiento en el Conglomerado de Lima mediante la técnica de Retroanálisis basado en el método de equilibrio límite

Código : 01-EMS

Descripción : Estudio de Mecánica de Suelos con fines de cimentación del "Centro Empresarial El Derby"

Solicitante : Centro Empresarial El Derby S.A.

Ubicación : Jr. El Polo y Av. El Derby

Distrito : Santiago de Surco

Año : 2007

Tabla N° 4 Resumen de los Resultados del Ensayo Análisis Multicanal de Ondas de Superficie

Línea sísmica	Longitud	Estratos	Vs (m/s)	Profundidad (m)
MASW-1	53.00	3	310	0.0-2.50
			450	2.50-5.00
			620	>5.00
MASW-2	53.00	3	280	0.0-2.50
			410	2.50-5.00
			580	>5.00
MASW-3	53.00	5	320	0.0-2.50
			480	2.50-5.00
			570	>5.00

Tabla N° 5 Parámetros dinámicos del suelo

Profundidad (m)	Vs (m/s)	Densidad (t/m ³)	Relacion de Poisson (u)	Módulo de Corte Gd (kg/cm ²)	Módulo de Young Ed (kg/cm ²)	Módulo de Young Es (kg/cm ²)
0.0 - 2.50	310	2.00	0.28	1961	5021	502
2.50 - 5.00	450	2.00	0.30	4133	10745	1074
> 5.00	620	2.10	0.25	8237	20593	2059
0.0 - 2.50	280	2.00	0.28	1600	4096	410
2.50 - 5.00	410	2.00	0.30	3431	8920	892
> 5.00	580	2.10	0.25	7209	18021	1802
0.0 - 2.50	320	1.80	0.28	1881	4815	481
2.50 - 5.00	480	2.00	0.30	4702	12225	1223
> 5.00	570	2.10	0.25	6962	17405	1741

Tabla N° 6 Resumen de los resultados

Profundidad (m)	Vp (m/s)	Vs (m/s)	Densidad (t/m ³)	Relacion de Poisson (u)	Gd (kN/m ²)	Ed (kN/m ²)
0.00-3.00	439	303	1.9	0.28	180935	463194
3.00-10.00	1144	447	2.0	0.30	407358	1059131
10.00-20.00	1585	590	2.1	0.25	745168	1862920

UNIVERSIDAD PERUANA DE CIENCIAS APLICADAS
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
PROGRAMA ACADÉMICO DE INGENIERÍA CIVIL

Tesis : Optimización del grado de inclinación de taludes provisionales sin sostenimiento en el Conglomerado de Lima mediante la técnica de Retroanálisis basado en el método de equilibrio límite

Código : 02-EMS

Descripción : Estudio de Mecánica de Suelos con fines de cimentación del Proyecto de Edificación de 10 pisos y 04 sótanos

Solicitante : Ingeniería de la Construcción SAC

Ubicación : Av. Benavides N° 3066

Distrito : Miraflores

Año : 2014

Tabla N° 1 Resumen de Calicatas de Exploración

Calicata	Prof. (m)
C-1	10.00
C-2	10.00

Tabla N° 2 Resumen de resultados de Ensayos de Laboratorio

Calicata	Muestra	Prof. (m)	SUCS
C-1	S/M	0,00-0,70	Material de cultivo
C-1	M-1	0,70-1,80	GP
C-1	M-2	1,80-2,90	GP
C-1	M-3	2,90-3,60	GP
C-1	M-4	3,60-4,50	GP
C-1	M-5	4,50-5,70	GP
C-1	M-6	6,50-7,10	GP
C-1	M-7	7,10-7,80	GP
C-1	M-8	7,80-7,85	GP
C-1	M-9	7,85-9,40	GP
C-1	M-10	9,50-10,0	GP
C-2	M-1	1,10-2,10	GP
C-2	M-2	2,10-2,50	GP
C-2	M-3	2,70-3,40	GP
C-2	M-4	3,40-4,00	GP
C-2	M-5	4,50-5,20	GP
C-2	M-6	5,20-5,70	GP
C-2	M-7	5,70-6,80	GP
C-2	M-8	6,80-8,00	GP
C-2	M-9	8,00-8,60	GP
C-2	M-10	8,60-10,0	GP

UNIVERSIDAD PERUANA DE CIENCIAS APLICADAS
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
PROGRAMA ACADÉMICO DE INGENIERÍA CIVIL

Tesis : Optimización del grado de inclinación de taludes provisionales sin sostenimiento en el Conglomerado de Lima mediante la técnica de Retroanálisis basado en el método de equilibrio límite

Código : 02-EMS

Descripción : Estudio de Mecánica de Suelos con fines de cimentación del Proyecto de Edificación de 10 pisos y 04 sótanos

Solicitante : Ingeniería de la Construcción SAC

Ubicación : Av. Benavides N° 3066

Distrito : Miraflores

Año : 2014

Tabla N° 3 Resumen de los Resultados del Ensayo Análisis Multicanal de Ondas de Superficie

Linea sísmica	Longitud	Estratos	Vs (m/s)	Profundidad (m)	Material
LW-1	35.00	4	271-373	0.00-0.70	Material de cobertura en estado
			373-460	0.70-1.50	Material de origen aluvial de c
			460-623	1.50-8.80	Material de origen aluvial de c
			648-737	8.80-20.00	Material natural proveniente d

Tabla N° 4 Parámetros dinámicos del suelo

Profundidad (m)	Vs (m/s)	Densidad (t/m3)	Relacion de Poisson (u)	Módulo de Corte Gd (kg/cm2)	Módulo de Young Ed (kg/cm2)	Módulo de Young Es (kg/cm2)
0.70	271.02	1.70	0.25	1274	3185	319
1.50	373.36	1.80	0.30	2560	6657	666
2.50	459.66	1.90	0.30	4096	10651	1065
3.50	491.62	1.90	0.30	4686	12183	1218
4.70	558.41	1.90	0.30	6046	15718	1572
5.90	579.3	1.90	0.30	6506	16916	1692
7.30	595.62	1.90	0.30	6878	17883	1788
8.80	623.02	2.00	0.30	7922	20596	2060
10.40	648.47	2.00	0.30	8582	22313	2231
12.10	668.32	2.00	0.30	9115	23700	2370
13.90	693.15	2.00	0.30	9805	25494	2549
15.80	706.49	2.10	0.30	10696	27809	2781
17.90	732.81	2.10	0.30	11507	29919	2992
20.00	737.51	2.10	0.30	11655	30304	3030

Tabla N° 6 Resumen de los resultados

Profundidad (m)	Vs (m/s)	Densidad (t/m3)	Relacion de Poisson (u)	Gd (kN/m2)	Ed (kN/m2)
0.00-3.00	368	1.8	0.28	248484	637776
3.00-10.00	570	1.9	0.30	635890	1653314
10.00-20.00	698	2.1	0.30	1018112	2647091

UNIVERSIDAD PERUANA DE CIENCIAS APLICADAS
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
PROGRAMA ACADÉMICO DE INGENIERÍA CIVIL

Tesis : Optimización del grado de inclinación de taludes provisionales sin sostenimiento en el Conglomerado de Lima mediante la técnica de Retroanálisis basado en el método de equilibrio límite

Código : 03-EMS

Descripción : Estudio de Mecánica de Suelos con fines de cimentación del Proyecto Construcción de Estacionamientos Subterráneos

Solicitante : Concesión estacionamiento Miraflores S.A.

Ubicación : Calle Virgen Milagrosa y Calle Lima

Distrito : Miraflores

Año : 2013

Tabla N° 1 Resumen de Calicatas de Exploración

Calicata	Prof. (m)
C-1	5.00
C-2	5.00
C-3	2.40
C-4	5.00
C-5	5.00
C-6	5.00

Tabla N° 2 Resumen de resultados de Ensayos de Laboratorio

Calicata	Muestra	Prof. (m)	SUCS
C-1	M-1	0.40 – 1.00	SM
C-1	M-2	1.00 – 5.00	GP
C-2	M-1	0.40 – 1.50	ML
C-2	M-2	1.50 – 1.90	ML
C-2	M-3	3.50 – 4.00	GW
C-2	M-4	4.00 – 4.20	SP
C-3	M-1	0.35 – 0.85	SM
C-3	M-2	0.85 – 2.40	GP
C-4	M-1	0.25 – 1.20	ML
C-4	M-2	1.20 – 5.00	GP
C-5	M-1	0.50 – 0.90	ML
C-5	M-2	0.90 – 1.90	GP
C-5	M-3	1.90 – 3.70	GP
C-5	M-4	3.70 – 5.00	GP-GM
C-6	M-1	0.60 – 1.50	SM
C-6	M-2	1.50 – 2.20	GP
C-6	M-3	2.20 – 3.80	GP-GM
C-6	M-4	3.80 – 5.00	GP

UNIVERSIDAD PERUANA DE CIENCIAS APLICADAS
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
PROGRAMA ACADÉMICO DE INGENIERÍA CIVIL

Tesis : Optimización del grado de inclinación de taludes provisionales sin sostenimiento en el Conglomerado de Lima mediante la técnica de Retroanálisis basado en el método de equilibrio límite

Código : 03-EMS

Descripción : Estudio de Mecánica de Suelos con fines de cimentación del Proyecto Construcción de Estacionamientos Subterráneos

Solicitante : Viva GyM

Ubicación : Calle Virgen Milagrosa y Calle Lima

Distrito : Miraflores

Año : 2013

Tabla N° 3 Resumen de los Resultados del Ensayo de Refracción Sísmica

Línea sísmica	Longitud	Estratos	Vp (m/s)	Profundidad (m)	Material
LS-1	96.00	4	346-581	2.0-4.0	Material de cobertura y grava
			699-1062	2.5-8.0	Grava medianamente densa
			1170-1995	12.0-15.0	Grava densa
			2112-2465	-	Grava muy densa
LS-2	72.00	3	315-483	2.0-4.1	Material de cobertura y grava
			567-1072	2.5-8.1	Grava medianamente densa
			1156-1827	12.0-15.1	Grava densa
LS-3	72.00	4	311-509	-	Material de cobertura y grava
			609-1006	2.0-4.2	Grava medianamente densa
			1106-2001	2.5-8.2	Grava densa
			2099-2500	12.0-15.2	Grava muy densa

Tabla N° 3 Resumen de los Resultados del Ensayo Análisis Multicanal de Ondas de Superficie

Línea sísmica	Longitud	Estratos	Vs (m/s)	Profundidad (m)	Material
LW-1	54.00	3	229-462	0.0-3.70	Material de cobertura y grava
			512-900	3.70-13.20	Grava densa
			1010-1230	13.20-30.0	Grava muy densa
LW-2	54.00	2	238-428	0.0-3.7	Material de cobertura y grava
			521-903	3.7-30.0	Grava densa
LW-3	54.00	3	198-448	0.0-3.7	Material de cobertura y grava
			566-974	3.7-23.7	Grava densa
			1004-1027	23.7-30.0	Grava muy densa
LW-4	54.00	2	233-498	0.0-5.3	Material de cobertura y grava
			611-956	5.3-30.0	Grava densa

UNIVERSIDAD PERUANA DE CIENCIAS APLICADAS
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
PROGRAMA ACADÉMICO DE INGENIERÍA CIVIL

Tesis : Optimización del grado de inclinación de taludes provisionales sin
Código : 03-EMS
Descripción : Estudio de Mecánica de Suelos con fines de cimentación del Proyecto
Solicitante : Viva GyM
Ubicación : Calle Virgen Milagrosa y Calle Lima
Distrito : Miraflores
Año : 2013

Tabla N° 4 Parámetros dinámicos del suelo ensayo LW-01

Profundidad (m)	Vp (m/s)	Vs (m/s)	Densidad (t/m3)	Relacion de Poisson (u)	Módulo de Corte Gd (kg/cm2)	Módulo de Young Ed (kg/cm2)
1.10	1591.93	229.11	1.70	0.30	911	2367
2.30	1621.38	262.13	1.70	0.30	1192	3099
3.70	1789.17	462.39	1.70	0.30	3709	9643
5.30	1862.19	512.49	1.80	0.30	4824	12543
7.00	1932.07	539.78	1.80	0.30	5352	13914
8.90	2030.15	619.27	1.80	0.30	7044	18314
11.00	2195.13	776.2	1.80	0.30	11066	28772
13.20	2285.27	900.22	1.80	0.30	14885	38701
15.60	2360.3	1010.69	2.00	0.30	20847	54202
18.10	2390.55	1080.8	2.00	0.30	23839	61982
20.90	2402.8	1141.05	2.00	0.30	26571	69085
23.70	2413.3	1179.26	2.00	0.30	28381	73790
26.80	2422.66	1208.12	2.00	0.30	29787	77446
30.00	2430.93	1230.53	2.00	0.30	30902	80346

Tabla N° 5 Parámetros dinámicos del suelo ensayo LW-02

Profundidad (m)	Vp (m/s)	Vs (m/s)	Densidad (t/m3)	Relacion de Poisson (u)	Módulo de Corte Gd (kg/cm2)	Módulo de Young Ed (kg/cm2)
1.10	1629.27	238.76	1.70	0.30	989	2571
2.30	1659.98	287.23	1.70	0.30	1431	3721
3.70	1770.91	428.56	1.70	0.30	3186	8284
5.30	1866.42	521.43	1.80	0.30	4994	12984
7.00	1934.27	574.63	1.80	0.30	6065	15769
8.90	1979.74	606.16	1.80	0.30	6749	17547
11.00	2023.38	638.86	1.80	0.30	7496	19491
13.20	2064.61	679.64	1.80	0.30	8484	22059
15.60	2095.17	726.21	1.80	0.30	9687	25185
18.10	2101.17	763.5	1.80	0.30	10707	27838
20.90	2101.17	801.28	1.80	0.30	11793	30661
23.70	2101.17	838.3	1.80	0.30	12908	33560
26.80	2101.17	870.8	1.80	0.30	13928	36212
30.00	2101.17	903.22	1.80	0.30	14984	38959

UNIVERSIDAD PERUANA DE CIENCIAS APLICADAS
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
PROGRAMA ACADÉMICO DE INGENIERÍA CIVIL

Tesis : Optimización del grado de inclinación de taludes provisionales sin
Código : 03-EMS
Descripción : Estudio de Mecánica de Suelos con fines de cimentación del Proyecto
Solicitante : Viva GyM
Ubicación : Calle Virgen Milagrosa y Calle Lima
Distrito : Miraflores
Año : 2013

Tabla N° 6 Parámetros dinámicos del suelo ensayo LW-03

Profundidad (m)	Vp (m/s)	Vs (m/s)	Densidad (t/m3)	Relacion de Poisson (u)	Módulo de Corte Gd (kg/cm2)	Módulo de Young Ed (kg/cm2)
1.10	1589.6	198.45	1.70	0.30	683	1776
2.30	1635.9	276.15	1.70	0.30	1323	3439
3.70	1768.14	448.92	1.70	0.30	3496	9089
5.30	1895.94	566.32	1.80	0.30	5891	15316
7.00	1975.93	617.52	1.80	0.30	7004	18210
8.90	2035.05	645.53	1.80	0.30	7654	19900
11.00	2101.05	695.18	1.80	0.30	8876	23079
13.20	2159.86	764.09	1.80	0.30	10723	27881
15.60	2199.01	837.16	1.80	0.30	12873	33469
18.10	2200.63	886.85	1.80	0.30	14446	37560
20.90	2200.63	934.27	1.80	0.30	16032	41684
23.70	2200.63	974.24	1.80	0.30	17433	45326
26.80	2200.63	1004.77	2.00	0.30	20603	53569
30.00	2200.63	1027.75	2.00	0.30	21557	56047

Tabla N° 7 Parámetros dinámicos del suelo ensayo LW-04

Profundidad (m)	Vp (m/s)	Vs (m/s)	Densidad (t/m3)	Relacion de Poisson (u)	Módulo de Corte Gd (kg/cm2)	Módulo de Young Ed (kg/cm2)
1.10	1633.12	233.27	1.70	0.30	944	2454
2.30	1671.77	307.28	1.70	0.30	1638	4259
3.70	1760.33	405.31	1.70	0.30	2850	7409
5.30	1865.07	498.26	1.70	0.30	4307	11197
7.00	1973.9	611.54	1.80	0.30	6869	17860
8.90	2023.87	669.7	1.80	0.30	8238	21418
11.00	2058.81	706.12	1.80	0.30	9158	23811
13.20	2092.26	744.07	1.80	0.30	10169	26439
15.60	2105.59	774.61	1.80	0.30	11021	28654
18.10	2112.33	809.39	1.80	0.30	12033	31285
20.90	2112.33	842.37	1.80	0.30	13033	33886
23.70	2112.33	880.7	1.80	0.30	14246	37040
26.80	2112.33	921.08	1.80	0.30	15583	40515
30.00	2112.33	956.54	1.80	0.30	16806	43694

UNIVERSIDAD PERUANA DE CIENCIAS APLICADAS
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
PROGRAMA ACADÉMICO DE INGENIERÍA CIVIL

Tesis : Optimización del grado de inclinación de taludes provisionales sin
Código : 03-EMS
Descripción : Estudio de Mecánica de Suelos con fines de cimentación del Proyecto
Solicitante : Viva GyM
Ubicación : Calle Virgen Milagrosa y Calle Lima
Distrito : Miraflores
Año : 2013

Tabla N° 8 Resumen de los resultados

Profundidad (m)	Vp (m/s)	Vs (m/s)	Densidad (t/m3)	Relacion de Poisson (u)	Gd (kN/m2)	Ed (kN/m2)
0.00-3.00	1629	254	1.7	0.30	111801	290683
3.00-10.00	1904	545	1.7	0.30	514722	1338277
10.00-20.00	2159	800	1.7	0.30	1133537	2947196
20.00-30.00	2208	982	1.8	0.30	1757114	4568496

UNIVERSIDAD PERUANA DE CIENCIAS APLICADAS
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
PROGRAMA ACADÉMICO DE INGENIERÍA CIVIL

Tesis : Optimización del grado de inclinación de taludes provisionales sin sostenimiento en el Conglomerado de Lima mediante la técnica de Retroanálisis basado en el método de equilibrio límite

Código : 04-EMS

Descripción : Estudio de Mecánica de Suelos con fines de cimentación del Proyecto de Edificación de 20 Pisos + azotea y 06 sotanos

Solicitante : Ingeniería de la Construcción SAC

Ubicación : Av. Juan Antonio Pezet N° 583

Distrito : San Isidro

Año : 2014

Tabla N° 1 Resumen de Calicatas de Exploración

Calicata	Prof. (m)
C-01	10.20
C-02	10.10
C-03	10.10
C-04	10.10

Tabla N° 2 Resumen de resultados de Ensayos de Laboratorio

Calicata	Muestra	Prof. (m)	SUCS
C-1	M-1	4.05 – 5.60	GP
C-1	M-2	5.60 – 6.20	GP-GM
C-1	M-3	6.20 – 6.95	GP
C-1	M-4	6.95 – 7.85	GP
C-1	M-5	7.85 – 8.70	GP
C-1	M-6	9.60 – 10.20	GP
C-2	M-1	2.70 – 3.50	GP
C-2	M-2	4.40 – 5.30	GW
C-2	M-3	5.30 – 6.00	GP
C-2	M-4	6.85 – 8.00	GP
C-2	M-5	8.00 – 9.10	GW
C-2	M-6	9.10 – 10.10	GP
C-3	M-1	2.00 – 3.60	GP
C-3	M-2	4.20 – 5.10	GP
C-3	M-3	5.25 – 6.80	GP
C-3	M-4	6.80 – 7.50	GP
C-3	M-5	8.10 – 8.85	GP
C-3	M-6	8.85 – 10.10	GP
C-4	M-1	2.65 – 3.70	GP
C-4	M-2	3.70 – 4.65	GP
C-4	M-3	4.65 – 5.90	GP
C-4	M-4	5.90 – 6.60	GP
C-4	M-5	7.40 – 8.40	GP
C-4	M-6	8.40 – 10.10	GW

UNIVERSIDAD PERUANA DE CIENCIAS APLICADAS
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
PROGRAMA ACADÉMICO DE INGENIERÍA CIVIL

Tesis : Optimización del grado de inclinación de taludes provisionales sin sostenimiento en el Conglomerado de Lima mediante la técnica de Retroanálisis basado en el método de equilibrio límite

Código : 04-EMS

Descripción : Estudio de Mecánica de Suelos con fines de cimentación del Proyecto de Edificación de 20 Pisos + azotea y 06 sótanos

Solicitante : Ingeniería de la Construcción SAC

Ubicación : Av. Juan Antonio Pezet N° 583

Distrito : San Isidro

Año : 2014

Tabla N° 3 Resumen de los Resultados del Ensayo Análisis Multicanal de Ondas de Superficie

Linea sísmica	Longitud	Estratos	Vs (m/s)	Profundidad (m)	Material
LW-1	37.00	4	229	0.00-1.10	Material de cobertura
			391-409	1.10-3.70	Material aluvional de compactación
			563-595	3.70-8.90	Material aluvional de compactación
			673-752	8.90-20.90	Material aluvional de compactación
LW-2	23.00	4	251	0.00-1.10	Material de cobertura
			379-414	1.10-3.70	Material aluvional de compactación
			561-597	3.70-8.90	Material aluvional de compactación
			745-798	8.90-20.90	Material aluvional de compactación
LW-3	29.00	4	235	0.00-1.10	Material de cobertura
			387-404	1.10-3.70	Material aluvional de compactación
			568-582	3.70-8.90	Material aluvional de compactación
			734-787	8.90-20.90	Material aluvional de compactación
LW-4	54.50	4	235-287	0.00-2.30	Material de cobertura
			422-466	2.30-5.30	Material aluvional de compactación
			603-663	5.30-11.00	Material aluvional de compactación
			725-877	11.00-30.00	Material aluvional de compactación

Tabla N° 5 Resumen de los resultados

Profundidad (m)	Vs (m/s)	Densidad (t/m ³)	Relacion de Poisson (u)	Gd (kN/m ²)	Ed (kN/m ²)
0.00-3.00	347	1.90	0.30	233001	605803
3.00-10.00	592	2.10	0.30	748962	1947301
10.00-20.00	745	2.20	0.30	1244227	3234990
20.00-30.00	801	2.20	0.30	1438861	3741039

UNIVERSIDAD PERUANA DE CIENCIAS APLICADAS
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
PROGRAMA ACADÉMICO DE INGENIERÍA CIVIL

Tesis : Optimización del grado de inclinación de taludes provisionales sin sostenimiento en el Conglomerado de Lima mediante la técnica de Retroanálisis basado en el método de equilibrio límite

Código : 05-EMS

Descripción : Estudio de Mecánica de Suelos con fines de cimentación del Proyecto Hotel - Oficinas Talbot

Solicitante : Afinmuebles SAC

Ubicación : Av. Basadre Ghomann con Calle Los Pinos

Distrito : San Isidro

Año : 2014

Tabla N° 1 Resumen de Calicatas de Exploración

Calicata	Prof. (m)
C-01	10.10
C-02	10.10
C-03	10.00
C-04	10.00
C-05	10.00
C-06	10.00
C-07	10.00
C-08	10.10
C-09	10.10

Tabla N° 2 Resumen de resultados de Ensayos de Laboratorio

Calicata	Muestra	Prof. (m)	SUCS
C-1	M-01	2.50 – 3.15	GP-GM
	M-02	3.90 – 4.50	GP
	M-03	4.50 – 5.25	GP
	M-04	6.65 – 7.20	GP
	M-05	7.20 – 7.90	GP
	M-06	7.90 – 10.10	GP
C-2	M-01	3.10 – 3.70	GP
	M-02	3.70 – 4.80	GP
	M-03	4.80 – 5.50	GP
	M-04	5.50 – 6.85	GP
	M-05	6.85 – 7.80	GP
	M-06	7.80 – 10.10	GP
C-3	M-01	1.30 – 2.25	GP
	M-02	4.10 – 4.80	GP
	M-03	5.75 – 6.65	GP
	M-04	6.65 – 7.25	GP
	M-05	7.25 – 8.25	GP
	M-06	8.25 – 10.00	GP

UNIVERSIDAD PERUANA DE CIENCIAS APLICADAS
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
PROGRAMA ACADÉMICO DE INGENIERÍA CIVIL

Tesis : Optimización del grado de inclinación de taludes provisionales sin sostenimiento en el Conglomerado de Lima mediante la técnica de Retroanálisis basado en el método de equilibrio límite

Código : 05-EMS

Descripción : Estudio de Mecánica de Suelos con fines de cimentación del Proyecto Hotel - Oficinas Talbot

Solicitante : Afinmuebles SAC

Ubicación : Av. Basadre Ghomann con Calle Los Pinos

Distrito : San Isidro

Año : 2014

Tabla N° 2 Resumen de resultados de Ensayos de Laboratorio

Calicata	Muestra	Prof. (m)	SUCS
C-4	M-01	1.35 – 2.10	GP
	M-02	4.05 – 4.90	GP
	M-03	6.00 – 7.05	GP
	M-04	7.05 – 7.95	GW
	M-05	8.60 – 10.00	GW
C-5	M-01	1.90 – 3.50	GP
	M-02	3.50 – 5.00	GP
	M-03	5.00 – 6.20	GP
	M-04	6.20 – 7.95	GP
	M-05	7.95 – 9.00	GP
	M-06	9.00 – 10.00	GW
C-6	M-01	1.90 – 2.70	GW
	M-02	3.60 – 4.15	GP
	M-03	5.40 – 6.70	GW
	M-04	7.95 – 9.00	GW
	M-05	9.00 – 10.00	GP-GM
C-7	M-01	2.95 – 3.90	GP
	M-02	3.90 – 4.60	GP
	M-03	4.60 – 5.20	GP
	M-04	5.20 – 6.20	GP
	M-05	6.20 – 7.90	GP
	M-06	7.90 – 10.00	GP
C-8	M-01	3.80 – 4.50	GP
	M-02	4.50 – 5.30	GP
	M-03	5.30 – 6.45	GP
	M-04	7.50 – 8.80	GP
	M-05	8.80 – 10.10	GP
C-9	M-01	4.60 – 5.35	GP
	M-02	5.35 – 6.10	GP
	M-03	6.10 – 6.70	GP
	M-04	6.70 – 7.40	GP
	M-05	7.40 – 8.40	GP
	M-06	8.70 – 10.10	GP

UNIVERSIDAD PERUANA DE CIENCIAS APLICADAS
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
PROGRAMA ACADÉMICO DE INGENIERÍA CIVIL

Tesis : Optimización del grado de inclinación de taludes provisionales sin
Código : 05-EMS
Descripción : Estudio de Mecánica de Suelos con fines de cimentación del Proyecto Hotel -
Solicitante : Afinmuebles SAC
Ubicación : Av. Basadre Ghomann con Calle Los Pinos
Distrito : San Isidro
Año : 2014

Tabla N° 3 Resumen de los Resultados del Ensayo de Refracción Sísmica

Línea sísmica	Longitud	Estratos	Vp (m/s)	Profundidad (m)	Material
LS-1	72.00	5	< 500	0.45-1.00	Material de cobertura
			500-1000	2.20-3.20	Material aluvional de compaci
			1000-1500	3.50-5.00	Material aluvional de compaci
			1500-2000	6.20-8.50	Material aluvional de compaci
			>2000	-	Material aluvional de compaci
LS-2	60.00	5	< 500	0.60-1.80	Material de cobertura
			500-1000	2.00-2.50	Material aluvional de compaci
			1000-1500	3.00-4.70	Material aluvional de compaci
			1500-2000	4.80-7.50	Material aluvional de compaci
			>2000	-	Material aluvional de compaci
LS-3	48.00	4	< 500	1.50-1.70	Material de cobertura
			500-1000	1.65-2.30	Material aluvional de compaci
			1000-1500	2.20-3.00	Material aluvional de compaci
			>1500	-	Material aluvional de compaci

Tabla N° 3 Resumen de los Resultados del Ensayo Análisis Multicanal de Ondas de Superficie

Línea sísmica	Longitud	Estratos	Vs (m/s)	Profundidad (m)	Material
LW-1	54.50	5	247	0.00-1.10	Material de cobertura
			323	1.10-2.30	Material aluvional de compaci
			450	2.30-3.70	Material aluvional de compaci
			571-683	3.70-11.00	Material aluvional de compaci
			755-893	11.00-30.00	Material aluvional de compaci
LW-2	49.50	5	244	0.00-1.10	Material de cobertura
			293	1.10-2.30	Material aluvional de compaci
			381	2.30-3.70	Material aluvional de compaci
			494-641	3.70-11.00	Material aluvional de compaci
			716-918	11.00-30.00	Material aluvional de compaci
LW-3	54.50	5	244	0.00-1.10	Material de cobertura
			337	1.10-2.30	Material aluvional de compaci
			411	2.30-3.70	Material aluvional de compaci
			544-677	3.70-11.00	Material aluvional de compaci
			718-922	11.00-30.00	Material aluvional de compaci

UNIVERSIDAD PERUANA DE CIENCIAS APLICADAS
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
PROGRAMA ACADÉMICO DE INGENIERÍA CIVIL

Tesis : Optimización del grado de inclinación de taludes provisionales sin
Código : 05-EMS
Descripción : Estudio de Mecánica de Suelos con fines de cimentación del Proyecto Hotel -
Solicitante : Afinmuebles SAC
Ubicación : Av. Basadre Ghomann con Calle Los Pinos
Distrito : San Isidro
Año : 2014

Tabla N° 3 Resumen de los Resultados del Ensayo Análisis Multicanal de Ondas de Superficie

Línea sísmica	Longitud	Estratos	Vs (m/s)	Profundidad (m)	Material
LW-04	54.00	5	232	0.00-1.10	Material de cobertura
			295	1.10-2.30	Material aluvional de compaci
			441	2.30-3.70	Material aluvional de compaci
			493-692	3.70-11.00	Material aluvional de compaci
			738-890	11.00-30.00	Material aluvional de compaci
LW-05	49.50	5	239	0.00-1.10	Material de cobertura
			332	1.10-2.30	Material aluvional de compaci
			433	2.30-3.70	Material aluvional de compaci
			533-656	3.70-11.00	Material aluvional de compaci
			735-931	11.00-30.00	Material aluvional de compaci
LW-06	49.50	5	249	0.00-1.10	Material de cobertura
			339	1.10-2.30	Material aluvional de compaci
			468	2.30-3.70	Material aluvional de compaci
			555-684	3.70-8.90	Material aluvional de compaci
			703-896	8.90-30.00	Material aluvional de compaci
LW-07	44.50	5	249	0.00-1.10	Material de cobertura
			337	1.10-2.30	Material aluvional de compaci
			453	2.30-3.70	Material aluvional de compaci
			543-684	3.70-7.00	Material aluvional de compaci
			737-908	7.00-30.00	Material aluvional de compaci

Tabla N° 8 Resumen de los resultados

Profundidad (m)	Vp (m/s)	Vs (m/s)	Densidad (t/m3)	Relacion de Poisson (u)	Gd (kN/m2)	Ed (kN/m2)
0.00-3.00	500	339	1.90	0.30	222469	578419
3.00-10.00	1250	636	2.10	0.30	864986	2248964
10.00-20.00		750	2.20	0.30	1260627	3277630
10.00-20.00		750	2.20	0.30	1260627	3277630

UNIVERSIDAD PERUANA DE CIENCIAS APLICADAS
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
PROGRAMA ACADÉMICO DE INGENIERÍA CIVIL

Tesis : Optimización del grado de inclinación de taludes provisionales sin sostenimiento en el Conglomerado de Lima mediante la técnica de Retroanálisis basado en el método de equilibrio límite

Código : 06-EMS

Descripción : Estudio de Mecánica de Suelos con fines de cimentación, edificio de 15 pisos, 01 azotea, 07 sótanos y 01 sótano técnico

Solicitante : ATTKO SAC

Ubicación : Av. Larco y Calle Juan Fanning

Distrito : Miraflores

Año : 2015

Tabla N° 1 Resumen de Calicatas de Exploración

Calicata	Prof. (m)
C-01	10.00
C-02	10.00
C-03	10.00

Tabla N° 2 Resumen de resultados de Ensayos de Laboratorio

Calicata	Muestra	Prof. (m)	SUCS
C-1	M-2	2.30-3.35	GW
C-1	M-3	3.35-4.25	GP
C-1	M-4	4.25-4.90	GW
C-1	M-5	4.90-5.30	GP
C-1	M-6	5.30-6.10	GP
C-1	M-7	6.10-7.10	GP
C-1	M-8	7.10-8.60	GP
C-1	M-9	8.60-9.15	GP
C-1	M-10	9.15-10.00	GW
C-2	M-2	1.70-3.00	GP
C-2	M-3	3.00-3.40	GW
C-2	M-4	3.40-4.90	GP
C-2	M-5	4.90-5.60	GW
C-2	M-6	5.60-6.40	GP
C-2	M-7	6.40-7.20	GP
C-2	M-8	7.20-8.00	GP
C-2	M-9	8.00-9.00	GP
C-2	M-10	9.00-10.00	GP
C-3	M-2	1.85-2.30	SP
C-3	M-3	2.30-3.90	GP
C-3	M-4	3.90-4.80	GW
C-3	M-5	4.80-5.70	GP
C-3	M-6	5.70-6.40	GP
C-3	M-7	6.40-7.10	GP
C-3	M-8	7.10-8.00	GP
C-3	M-9	8.00-8.60	GW
C-3	M-10	8.60-9.40	GP
C-3	M-11	9.40-10.00	GP

UNIVERSIDAD PERUANA DE CIENCIAS APLICADAS
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
PROGRAMA ACADÉMICO DE INGENIERÍA CIVIL

Tesis : Optimización del grado de inclinación de taludes provisionales sin sostenimiento en el Conglomerado de Lima mediante la técnica de Retroanálisis basado en el método de equilibrio límite

Código : 06-EMS

Descripción : Estudio de Mecánica de Suelos con fines de cimentación, edificio de 15 pisos, 01 azotea, 07 sótanos y 01 sótano técnico

Solicitante : ATTKO SAC

Ubicación : Av. Larco y Calle Juan Fanning

Distrito : Miraflores

Año : 2015

Tabla N° 3 Resumen de los Resultados del Ensayo Análisis Multicanal de Ondas de Superficie

Línea sísmica	Longitud	Estratos	Vs (m/s)	Profundidad (m)	Material
LW-01	54.50	4	<250	0.00-2.30	Material aluvional de compactación
			250-520	2.30-11.00	Material aluvional de compactación
			520-540	11.00-15.60	Material aluvional de compactación
			540-580	15.60-30.00	Material aluvional de compactación
LW-02	54.50	4	<290	0.00-3.70	Material aluvional de compactación
			290-390	3.70-11.00	Material aluvional de compactación
			390-580	11.00-15.60	Material aluvional de compactación
			580-610	15.60-30.00	Material aluvional de compactación
LW-03	36.00	4	<250	0.00-3.80	Material aluvional de compactación
			250-390	3.80-9.00	Material aluvional de compactación
			390-490	9.00-15.60	Material aluvional de compactación
			490-550	15.60-30.00	Material aluvional de compactación

Tabla N° 4 Parámetros elásticos del suelo ensayo LW-01

Profundidad (m)	Vs (m/s)	Densidad (t/m ³)	Relacion de Poisson (u)	Módulo de Corte Gd (kg/cm ²)	Módulo de Young Ed (kg/cm ²)
1.10	216.37	1.80	0.30	860	2236
2.30	245.65	1.80	0.30	1108	2882
3.70	306.77	1.80	0.30	1729	4494
5.30	376.58	1.90	0.30	2749	7149
7.00	438.15	1.90	0.30	3722	9677
8.90	503.31	1.90	0.30	4911	12769
11.00	517.02	1.90	0.30	5183	13475
13.20	528.06	1.90	0.30	5406	14056
15.60	538.15	1.90	0.30	5615	14598
18.10	548.55	1.90	0.30	5834	15168
20.90	558.06	1.90	0.30	6038	15699
23.70	566.29	1.90	0.30	6217	16165
26.80	571.85	1.90	0.30	6340	16484
30.00	578.97	1.90	0.30	6499	16897

UNIVERSIDAD PERUANA DE CIENCIAS APLICADAS
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
PROGRAMA ACADÉMICO DE INGENIERÍA CIVIL

Tesis : Optimización del grado de inclinación de taludes provisionales sin
Código : 06-EMS
Descripción : Estudio de Mecánica de Suelos con fines de cimentación, edificio de 15 pisos,
Solicitante : ATTKO SAC
Ubicación : Av. Larco y Calle Juan Fanning
Distrito : Miraflores
Año : 2015

Tabla N° 5 Parámetros elásticos del suelo ensayo LW-02

Profundidad (m)	Vs (m/s)	Densidad (t/m3)	Relacion de Poisson (u)	Módulo de Corte Gd (kg/cm2)	Módulo de Young Ed (kg/cm2)
1.10	254.52	1.80	0.25	1190	2975
2.30	255	1.80	0.25	1194	2986
3.70	285.32	1.80	0.30	1495	3888
5.30	307.26	1.80	0.30	1734	4508
7.00	321.34	1.80	0.30	1897	4931
8.90	345.97	1.80	0.30	2198	5716
11.00	388.71	1.90	0.30	2929	7616
13.20	483.02	1.90	0.30	4523	11761
15.60	575.36	1.90	0.30	6418	16687
18.10	608.78	1.90	0.30	7185	18682
20.90	599.5	1.90	0.30	6968	18117
23.70	591.29	1.90	0.30	6778	17624
26.80	601.61	1.90	0.30	7017	18244
30.00	611.13	1.90	0.30	7241	18826

Tabla N° 6 Parámetros dinámicos del suelo ensayo LW-03

Profundidad (m)	Vs (m/s)	Densidad (t/m3)	Relacion de Poisson (u)	Módulo de Corte Gd (kg/cm2)	Módulo de Young Ed (kg/cm2)
1.10	211.18	1.80	0.25	819	2048
2.30	216.88	1.80	0.25	864	2160
3.70	254.41	1.80	0.30	1189	3091
5.30	291.29	1.80	0.30	1558	4052
7.00	336.34	1.80	0.30	2078	5402
8.90	389.03	1.90	0.30	2934	7629
11.00	442.26	1.90	0.30	3792	9860
13.20	477.85	1.90	0.30	4427	11510
15.60	490.32	1.90	0.30	4661	12119
18.10	500.22	1.90	0.30	4851	12613
20.90	510.86	1.90	0.30	5060	13155
23.70	524.09	1.90	0.30	5325	13846
26.80	533.66	1.90	0.30	5521	14356
30.00	545.38	1.90	0.30	5767	14993

UNIVERSIDAD PERUANA DE CIENCIAS APLICADAS
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
PROGRAMA ACADÉMICO DE INGENIERÍA CIVIL

Tesis : Optimización del grado de inclinación de taludes provisionales sin
Código : 06-EMS
Descripción : Estudio de Mecánica de Suelos con fines de cimentación, edificio de 15 pisos,
Solicitante : ATTKO SAC
Ubicación : Av. Larco y Calle Juan Fanning
Distrito : Miraflores
Año : 2015

Tabla N° 8 Resumen de los resultados

Profundidad (m)	Vs (m/s)	Densidad (t/m³)	Relacion de Poisson (u)	Gd (kN/m²)	Ed (kN/m²)
0.00-3.00	233	1.8	0.27	99613	252353
3.00-10.00	346	1.8	0.30	223730	581698
10.00-20.00	508	1.9	0.30	499818	1299527
20.00-30.00	566	1.9	0.30	620465	1613209

UNIVERSIDAD PERUANA DE CIENCIAS APLICADAS
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
PROGRAMA ACADÉMICO DE INGENIERÍA CIVIL

Tesis : Optimización del grado de inclinación de taludes provisionales sin sostenimiento en el Conglomerado de Lima mediante la técnica de Retroanálisis basado en el método de equilibrio límite

Código : 07-EMS

Descripción : Estudio de Suelos para la Construcción del Edificio Torre Tekton

Solicitante : TEKTON CORP. SAC

Ubicación : Av. Javier Prado Este 169-181

Distrito : San Isidro

Año : 2010

Tabla N° 1 Resumen de Calicatas de Exploración

Calicata	Prof. (m)
C-01	5.00
C-02	5.00
C-03	10.00

Tabla N° 2 Resumen de resultados de Ensayos de Laboratorio

Calicata	Prof. (m)	SUCS	PU (gr/cm3)
C-01	0.40-5.00	GP	2.44
C-02	0.00-0.80	GP	1.61
C-02	0.80-5.00	GP	2.08

Tabla N° 3 Parámetros de velocidad de corte Vs

Zona	Tipo de ensayo	Entrato sísmico	Vs (m/s)	Profundidad (m)	Descripción
Frontis del terreno	MASW MAN-01	1	276 - 630	0.0 - 8.0	Grava medianamente densa a densa
		2	720 - 790	8.0 -25.0	Grava muy densa
Terreno del edificio	MASW MAN-02	1	470 - 675	0.0 - 10.0	Grava medianamente densa a densa
		2	710 - 900	10.0 - 35.0	Grava muy densa

Tabla N° 4 Resumen de los resultados

Profundidad (m)	Vs (m/s)	Densidad (t/m3)	Relacion de Poisson (u)	Gd (kN/m2)	Ed (kN/m2)
0.00-3.00	513	1.9	0.30	509209	1323943
3.00-10.00	513	2.1	0.30	562810	1463306
10.00-20.00	780	2.2	0.30	1364404	3547450
20.00-30.00	780	2.2	0.30	1364404	3547450

UNIVERSIDAD PERUANA DE CIENCIAS APLICADAS
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
PROGRAMA ACADÉMICO DE INGENIERÍA CIVIL

Tesis : Optimización del grado de inclinación de taludes provisionales sin sostenimiento en el Conglomerado de Lima mediante la técnica de Retroanálisis basado en el método de equilibrio límite

Código : 08-EMS

Descripción : Estudio Geotecnico con fines de cimentación Edificio Multifamiliar "Bolognesi". Vivienda multifamiliar de 15 pisos con 5 sótanos

Solicitante : TUCAN INVERSIONES SRL

Ubicación : Calle Bolognesi N°143

Distrito : Miraflores

Año : 2015

Tabla N° 1 Resumen de Calicatas de Exploración

Calicata	Prof. (m)
C-01	18.00
C-02	10.00

Tabla N° 2 Resumen de resultados de Ensayos de Laboratorio

Calicata	Muestra	Prof. (m)	SUCS	Dhúmeda	Dseca
C-1	CG-01	5.00	GP	2.33	2.28
	CG-02	10.00	GP	2.22	2.18
	CG-03	15.00	GP	2.32	2.27
	CG-04	18.00	GP	2.05	2.00
C-2	CG-01	5.00	GP	2.66	2.60
	CG-02	10.00	GP	2.71	2.64

Tabla N° 3 Parámetros elásticos del suelo ensayo LS 01 y LW-01

Profundidad (m)	Vp (m/s)	Vs (m/s)	Densidad (t/m3)	Relacion de Poisson (u)	Módulo de Corte Gd (kg/cm2)	Módulo de Young Ed (kg/cm2)
1.07	1877.00	370.50	1.80	0.48	2521	7463
2.31	1877.00	231.00	1.90	0.49	1035	3083
3.71	1946.00	529.00	1.90	0.46	5425	15842
5.28	2405.00	376.00	1.90	0.49	2741	8168
7.01	2408.00	433.50	1.90	0.48	3643	10784
8.90	2408.00	513.00	1.90	0.48	5102	15103
10.96	2408.00	541.00	2.00	0.47	5973	17561
13.19	2408.00	537.00	2.00	0.47	5885	17302
15.58	2408.00	520.00	2.00	0.48	5518	16334
18.13	2408.00	501.50	2.00	0.48	5133	15193
20.85	2408.00	486.50	2.00	0.48	4830	14298
23.74	2408.00	477.50	2.00	0.48	4653	13773
26.79	2408.00	472.00	2.00	0.48	4547	13458
30.00	2408.00	470.50	2.00	0.48	4518	13373

UNIVERSIDAD PERUANA DE CIENCIAS APLICADAS
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
PROGRAMA ACADÉMICO DE INGENIERÍA CIVIL

Tesis : Optimización del grado de inclinación de taludes provisionales sin
Código : 07-EMS
Descripción : Estudio Geotecnico con fines de cimentación Edificio Multifamiliar
Solicitante : TUCAN INVERSIONES SRL
Ubicación : Calle Bolognesi N°143
Distrito : Miraflores
Año : 2015

Tabla N° 4 Parámetros elásticos del suelo ensayo LS-02 y LW-02

Profundidad (m)	Vp (m/s)	Vs (m/s)	Densidad (t/m3)	Relacion de Poisson (u)	Módulo de Corte Gd (kg/cm2)	Módulo de Young Ed (kg/cm2)
1.07	2510.00	301.00	1.80	0.49	1664	4959
2.31	2510.00	252.00	1.90	0.49	1231	3669
3.71	2910.00	530.00	1.90	0.48	5446	16120
5.28	3285.00	422.00	1.90	0.49	3453	10289
7.01	3285.00	414.00	1.90	0.49	3323	9902
8.90	3285.00	506.00	1.90	0.49	4964	14793
10.96	3285.00	550.00	2.00	0.49	6173	18397
13.19	3285.00	553.00	2.00	0.49	6241	18598
15.58	3285.00	544.00	2.00	0.49	6040	17998
18.13	3285.00	531.00	2.00	0.49	5754	17148
20.85	3285.00	519.00	2.00	0.49	5497	16382
23.74	3285.00	510.00	2.00	0.49	5308	15818
26.79	3285.00	503.00	2.00	0.49	5163	15387
30.00	3285.00	507.00	2.00	0.49	5246	15633

Tabla N° 5 Resumen de los resultados

Profundidad (m)	Vp (m/s)	Vs (m/s)	Densidad (t/m3)	Relacion de Poisson (u)	Gd (kN/m2)	Ed (kN/m2)
0.00-3.00	2194	289	1.9	0.49	157506	468580
3.00-10.00	2742	465	1.9	0.48	418784	1241695
10.00-20.00	2847	535	2.0	0.48	583537	1730187
20.00-30.00	2847	493	2.0	0.49	495513	1471674

UNIVERSIDAD PERUANA DE CIENCIAS APLICADAS
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
PROGRAMA ACADÉMICO DE INGENIERÍA CIVIL

Tesis : Optimización del grado de inclinación de taludes provisionales sin sostenimiento en el Conglomerado de Lima mediante la técnica de Retroanálisis basado en el método de equilibrio límite

Código : 09-EMS

Descripción : Estudio Geotécnico de cimentación y estabilidad

Solicitante : INVERSIONES INMOBILIARIAS MAGDALENA SAC

Ubicación : Av. Antonio Miroquesada 650-670-690, Magdalena del Mar, Lima

Distrito : Magdalena del Mar

Año : 2018

Tabla N° 1 Resumen de Calicatas de Exploración

Calicata	Prof. (m)
C-01	5.00
C-02	5.00
C-03	5.00
C-04	5.00

Tabla N° 2 Parámetros dinámicos del suelo ensayo LW-01

Profundidad (m)	Vs (m/s)	Densidad (t/m ³)	Relacion de Poisson (u)	Módulo de Corte Gd (kg/cm ²)	Módulo de Young Ed (kg/cm ²)
1.10	569.10	2.00	0.30	6610	17185
2.30	568.00	2.00	0.30	6584	17119
3.70	564.90	2.00	0.30	6512	16932
5.30	561.30	2.00	0.30	6430	16717
7.00	545.20	2.00	0.30	6066	15772
8.90	585.70	2.00	0.30	7001	18202
11.00	664.90	2.00	0.30	9022	23458
13.20	750.60	2.00	0.30	11498	29895
15.60	781.70	2.00	0.30	12471	32423
18.10	848.80	2.00	0.30	14703	38229
20.90	866.40	2.00	0.30	15319	39830
23.70	878.60	2.00	0.30	15754	40960
26.80	886.80	2.00	0.30	16049	41728
30.00	892.10	2.00	0.30	16242	42228

UNIVERSIDAD PERUANA DE CIENCIAS APLICADAS
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
PROGRAMA ACADÉMICO DE INGENIERÍA CIVIL

Tesis : Optimización del grado de inclinación de taludes provisionales sin
Código : 09-EMS
Descripción : Estudio Geotécnico de cimentación y estabilidad
Solicitante : INVERSIONES INMOBILIARIAS MAGDALENA SAC
Ubicación : Av. Antonio Miroquesada 650-670-690, Magdalena del Mar, Lima
Distrito : Magdalena del Mar
Año : 2018

Tabla N° 3 Parámetros dinámicos del suelo ensayo LW-02

Profundidad (m)	Vs (m/s)	Densidad (t/m ³)	Relacion de Poisson (u)	Módulo de Corte Gd (kg/cm ²)	Módulo de Young Ed (kg/cm ²)
1.10	602.70	2.00	0.30	7413	19274
2.30	601.80	2.00	0.30	7391	19217
3.70	696.80	2.00	0.30	9909	25763
5.30	690.50	2.00	0.30	9730	25299
7.00	689.80	2.00	0.30	9711	25248
8.90	706.30	2.00	0.30	10181	26470
11.00	794.30	2.00	0.30	12876	33477
13.20	909.80	2.00	0.30	16893	43921
15.60	979.80	2.00	0.30	19592	50939
18.10	1069.00	2.00	0.30	23322	60636
20.90	1181.10	2.00	0.30	28469	74020
23.70	1215.40	2.00	0.30	30147	78382
26.80	1227.50	2.00	0.30	30750	79950
30.00	1255.10	2.00	0.30	32148	83586

Tabla N° 4 Resumen de los resultados

Profundidad (m)	Vs (m/s)	Densidad (t/m ³)	Relacion de Poisson (u)	Gd (kN/m ²)	Ed (kN/m ²)
0.00-3.00	585	2.00	0.30	697706	1814036
3.00-10.00	630	2.00	0.30	809174	2103852
10.00-20.00	850	2.00	0.30	1472987	3829766
20.00-30.00	1050	2.00	0.30	2247706	5844036

ANEXO 2: ENSAYOS REALIZADOS PARA LA LÍNEA 2 DEL METRO DE CALLAO Y LIMA

UNIVERSIDAD PERUANA DE CIENCIAS APLICADAS
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
PROGRAMA ACADÉMICO DE INGENIERÍA CIVIL

Tesis : Optimización del grado de inclinación de taludes provisionales sin sostenimiento en el Conglomerado de Lima mediante la técnica de Retroanálisis basado en el método de equilibrio límite

Descripción : Ensayos de densidad de campo del Proyecto Línea 2 y Ramal Av. Faucett - Av. Gambetta del Metro de Lima y Callao realizado por GEODATA

Solicitante : Línea 2 del Metro de Callao y Lima

Año : 2013

Prospección	Procedencia	Prof. Media (m)	SUCS	W (%)	Yap (kN/m3)
CP-01	L2.Geodata 2013 P1	5.0	SM	nd	19.7
CP-01	L2.Geodata 2013 P1	9.0	GP	nd	21.6
CP – 01	L2.Geodata 2013 P1	14.0	GP	nd	22.9
CP – 01	L2.Geodata 2013 P1	19.0	GP	nd	22.3
CP – 01	L2.Geodata 2013 P1	24.0	GP	nd	22.7
CP – 01	L2.Geodata 2013 P1	27.0	GP	nd	23
CP - 02	L2.Geodata 2013 P1	5.0	CL	nd	18.9
CP - 02	L2.Geodata 2013 P1	9.0	GP	nd	23.9
CP - 02	L2.Geodata 2013 P1	14.0	GW	nd	22.6
CP - 02	L2.Geodata 2013 P1	19.0	GP	nd	22.8
CP - 02	L2.Geodata 2013 P1	24.0	GP-GM	nd	21.5
CP - 02	L2.Geodata 2013 P1	27.0	GP	nd	23
CP – 04	L2.Geodata 2013 P1	4.0	GP	nd	21.9
CP – 04	L2.Geodata 2013 P1	9.0	GP	nd	23.5
CP – 04	L2.Geodata 2013 P1	14.0	GP	nd	23.1
CP – 04	L2.Geodata 2013 P1	19.0	GP	nd	22
CP – 04	L2.Geodata 2013 P1	24.0	GW	nd	22.7
CP – 04	L2.Geodata 2013 P1	28.0	GP	nd	23.8
CP – 05	L2.Geodata 2013 P1	4.3	GW	nd	22.5
CP – 05	L2.Geodata 2013 P1	9.0	GP	nd	21.8
CP – 05	L2.Geodata 2013 P1	14.0	ML	nd	17.9
CP – 05	L2.Geodata 2013 P1	19.0	GP	nd	21.6
CP – 05	L2.Geodata 2013 P1	24.0	GP	nd	23
CP – 05	L2.Geodata 2013 P1	28.0	GP	nd	20.3
CP – 06	L2.Geodata 2013 P1	4.0	GP	nd	21.8
CP – 06	L2.Geodata 2013 P1	9.0	GW	nd	23.3
CP – 06	L2.Geodata 2013 P1	14.0	GP	nd	23.2
CP – 06	L2.Geodata 2013 P1	19.0	GP	nd	23
CP – 06	L2.Geodata 2013 P1	24.0	GP	nd	23.3
CP – 06	L2.Geodata 2013 P1	28.0	GP	nd	23.4
CP – 07	L2.Geodata 2013 P1	4.0	GP	nd	22.9
CP – 07	L2.Geodata 2013 P1	9.0	GP	nd	22.7
CP – 07	L2.Geodata 2013 P1	14.0	GP	nd	23
CP – 07	L2.Geodata 2013 P1	19.0	GP	nd	22.8

UNIVERSIDAD PERUANA DE CIENCIAS APLICADAS
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
PROGRAMA ACADÉMICO DE INGENIERÍA CIVIL

Tesis : Optimización del grado de inclinación de taludes provisionales sin sostenimiento en el Conglomerado de Lima mediante la técnica de Retroanálisis basado en el método de equilibrio límite

Descripción : Ensayos de densidad de campo del Proyecto Línea 2 y Ramal Av. Faucett - Av. Gambetta del Metro de Lima y Callao realizado por GEODATA

Solicitante : Línea 2 del Metro de Callao y Lima

Año : 2013

Prospección	Procedencia	Prof. Media (m)	SUCS	W (%)	Yap (kN/m3)
CP – 07	L2.Geodata 2013 P1	24.0	GP	nd	23.3
CP – 07	L2.Geodata 2013 P1	30.0	GP-GM	nd	23.2
CP – 08	L2.Geodata 2013 P1	4.0	GP	nd	22.4
CP – 08	L2.Geodata 2013 P1	9.0	GP	nd	22.9
CP – 08	L2.Geodata 2013 P1	14.5	GP	nd	22.5
CP – 08	L2.Geodata 2013 P1	19.0	GP	nd	22.8
CP – 08	L2.Geodata 2013 P1	24.0	GP-GM	nd	21.7
CP – 08	L2.Geodata 2013 P1	28.0	GP	nd	22.5
CP – 09	L2.Geodata 2013 P1	4.0	GP	nd	21.3
CP – 09	L2.Geodata 2013 P1	9.0	GW	nd	23.6
CP – 09	L2.Geodata 2013 P1	14.0	GP-GM	nd	23.9
CP – 09	L2.Geodata 2013 P1	19.0	GW	nd	23.2
CP – 09	L2.Geodata 2013 P1	24.0	GP	nd	22.1
CP – 09	L2.Geodata 2013 P1	28.0	GP	nd	23.2
CP – 10	L2.Geodata 2013 P1	4.0	GP	nd	24.1
CP – 10	L2.Geodata 2013 P1	9.0	GP	nd	24.3
CP – 10	L2.Geodata 2013 P1	14.2	GP	nd	24.3
CP – 10	L2.Geodata 2013 P1	19.2	GP	nd	22.3
CP – 10	L2.Geodata 2013 P1	24.5	GP	nd	24
CP – 10	L2.Geodata 2013 P1	28.0	GW	nd	22
CP - 11	L2.Geodata 2013 P1	4.0	GP	nd	21.3
CP - 11	L2.Geodata 2013 P1	9.0	GP	nd	22.4
CP - 11	L2.Geodata 2013 P1	13.0	GP	nd	22.2
CP - 11	L2.Geodata 2013 P1	19.0	GW	nd	22
CP - 11	L2.Geodata 2013 P1	24.0	GP	nd	23.7
CP - 11	L2.Geodata 2013 P1	28.0	GP	nd	22.5
CP - 12	L2.Geodata 2013 P1	4.0	GP	nd	21.7
CP - 12	L2.Geodata 2013 P1	9.0	GP	nd	24.1
CP - 12	L2.Geodata 2013 P1	13.0	GP	nd	24.3
CP - 12	L2.Geodata 2013 P1	19.0	GP	nd	24
CP - 12	L2.Geodata 2013 P1	24.0	GP	nd	24.3
CP - 12	L2.Geodata 2013 P1	30.0	GP	nd	23.5
CP – 13	L2.Geodata 2013 P1	4.0	GP	nd	23.1
CP – 13	L2.Geodata 2013 P1	9.0	GP	nd	23.7

UNIVERSIDAD PERUANA DE CIENCIAS APLICADAS
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
PROGRAMA ACADÉMICO DE INGENIERÍA CIVIL

Tesis : Optimización del grado de inclinación de taludes provisionales sin sostenimiento en el Conglomerado de Lima mediante la técnica de Retroanálisis basado en el método de equilibrio límite

Descripción : Ensayos de densidad de campo del Proyecto Línea 2 y Ramal Av. Faucett - Av. Gambetta del Metro de Lima y Callao realizado por GEODATA

Solicitante : Línea 2 del Metro de Callao y Lima

Año : 2013

Prospección	Procedencia	Prof. Media (m)	SUCS	W (%)	Yap (kN/m3)
CP – 13	L2.Geodata 2013 P1	14.2	GP	nd	23.8
CP – 13	L2.Geodata 2013 P1	19.0	GW	nd	23.8
CP – 13	L2.Geodata 2013 P1	25.0	GP	nd	24.3
CP – 13	L2.Geodata 2013 P1	28.0	GW	nd	22.6
CP - 14	L2.Geodata 2013 P1	4.5	GP	nd	21.4
CP - 14	L2.Geodata 2013 P1	9.5	GP	nd	21.5
CP - 14	L2.Geodata 2013 P1	14.0	GP	nd	22
CP - 14	L2.Geodata 2013 P1	19.0	GP	nd	23.3
CP - 14	L2.Geodata 2013 P1	24.2	GP	nd	22.5
CP - 14	L2.Geodata 2013 P1	4.5	GP	nd	21.5
CP - 15	L2.Geodata 2013 P1	4.7	GP	nd	23.2
CP - 15	L2.Geodata 2013 P1	9.0	GP	nd	23.6
CP - 15	L2.Geodata 2013 P1	14.0	GP	nd	23.5
CP - 15	L2.Geodata 2013 P1	19.0	GP	nd	22.9
CP - 15	L2.Geodata 2013 P1	24.5	ML	nd	20.8
CP - 15	L2.Geodata 2013 P1	28.0	SM	nd	21
CP - 15	L2.Geodata 2013 P1	29.0	GM	nd	22.3
CP – 16	L2.Geodata 2013 P1	4.0	GP	nd	22.1
CP – 16	L2.Geodata 2013 P1	9.0	GP	nd	21.9
CP – 16	L2.Geodata 2013 P1	14.0	GP	nd	21.4
CP – 16	L2.Geodata 2013 P1	19.0	GP	nd	22.2
CP – 16	L2.Geodata 2013 P1	24.0	GP	nd	22.2
CP – 16	L2.Geodata 2013 P1	27.6	SC	nd	18.2
CP - 17	L2.Geodata 2013 P1	4.1	GP	nd	23.1
CP - 17	L2.Geodata 2013 P1	8.5	GP	nd	23.7
CP - 17	L2.Geodata 2013 P1	14.0	GP	nd	23.9
CP - 17	L2.Geodata 2013 P1	19.0	GW	nd	23.2
CP - 17	L2.Geodata 2013 P1	24.0	SM	nd	20.9
CP - 17	L2.Geodata 2013 P1	28.0	CL	nd	19.6
CP - 17	L2.Geodata 2013 P1	31.0	CL	nd	19.9
CP - 18	L2.Geodata 2013 P1	4.0	GW	nd	22.3
CP - 18	L2.Geodata 2013 P1	7.5	GP	nd	24.3
CP - 18	L2.Geodata 2013 P1	12.5	GP	nd	24.3
CP - 18	L2.Geodata 2013 P1	18.0	GP	nd	24.2

UNIVERSIDAD PERUANA DE CIENCIAS APLICADAS
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
PROGRAMA ACADÉMICO DE INGENIERÍA CIVIL

Tesis : Optimización del grado de inclinación de taludes provisionales sin sostenimiento en el Conglomerado de Lima mediante la técnica de Retroanálisis basado en el método de equilibrio límite

Descripción : Ensayos de densidad de campo del Proyecto Línea 2 y Ramal Av. Faucett - Av. Gambetta del Metro de Lima y Callao realizado por GEODATA

Solicitante : Línea 2 del Metro de Callao y Lima

Año : 2013

Prospección	Procedencia	Prof. Media (m)	SUCS	W (%)	Yap (kN/m3)
CP - 18	L2.Geodata 2013 P1	23.0	SM	nd	18.8
CP - 18	L2.Geodata 2013 P1	27.0	GM	nd	23.2
CP-19	L2.Geodata 2013 P1	4.0	GP	nd	22.9
CP-19	L2.Geodata 2013 P1	10.0	GP	nd	23.1
CP-19	L2.Geodata 2013 P1	18.0	GP	nd	22
CP-19	L2.Geodata 2013 P1	28.0	GP	nd	22.2
CP - 20	L2.Geodata 2013 P1	4.5	GW	nd	21
CP - 20	L2.Geodata 2013 P1	10.0	GP	nd	23.1
CP - 20	L2.Geodata 2013 P1	14.5	GP	nd	23.8
CP - 20	L2.Geodata 2013 P1	18.0	GP	nd	23.5
CP - 20	L2.Geodata 2013 P1	23.0	GP	nd	22.1
CP - 20	L2.Geodata 2013 P1	28.0	GP	nd	24.2
CP - 21	L2.Geodata 2013 P1	2.5	GP	nd	23.5
CP - 21	L2.Geodata 2013 P1	7.5	GP	nd	24.3
CP - 21	L2.Geodata 2013 P1	12.0	GW	nd	24.2
CP - 21	L2.Geodata 2013 P1	18.0	GP	nd	24
CP - 21	L2.Geodata 2013 P1	22.5	GP	nd	23.7
CP - 21	L2.Geodata 2013 P1	30.0	GP	nd	24.1
Poz 1	L2.Geodata 2013 P1	3.0	GP	nd	22.6
Poz 2	L2.Geodata 2013 P1	3.0	GW	nd	20.2
Poz 3	L2.Geodata 2013 P1	3.0	GP	nd	20.8
Poz 4	L2.Geodata 2013 P1	3.0	GP	nd	23.5
Poz 5	L2.Geodata 2013 P1	3.0	GW	nd	24
Poz 6	L2.Geodata 2013 P1	3.0	GW	nd	23.7
Poz 7	L2.Geodata 2013 P1	3.0	GM	nd	23.2
Poz 8	L2.Geodata 2013 P1	3.0	GP	nd	23
Poz 9	L2.Geodata 2013 P1	3.0	GP	nd	23.8
Poz 10	L2.Geodata 2013 P1	3.0	GP	nd	24.4
CP - 22	L2.Geodata 2013 P2	7.5	GP	nd	21.8
CP - 22	L2.Geodata 2013 P2	14.0	GP	nd	23
CP - 23	L2.Geodata 2013 P2	8.0	GW	nd	22.6
CP - 24	L2.Geodata 2013 P2	7.5	SC-SM	nd	18.1
CP - 24	L2.Geodata 2013 P2	12.5	GP-GC	nd	22.7
CP - 24	L2.Geodata 2013 P2	17.0	GP	nd	22.8

UNIVERSIDAD PERUANA DE CIENCIAS APLICADAS
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
PROGRAMA ACADÉMICO DE INGENIERÍA CIVIL

Tesis : Optimización del grado de inclinación de taludes provisionales sin sostenimiento en el Conglomerado de Lima mediante la técnica de Retroanálisis basado en el método de equilibrio límite

Descripción : Ensayos de densidad de campo del Proyecto Línea 2 y Ramal Av. Faucett - Av. Gambetta del Metro de Lima y Callao realizado por GEODATA

Solicitante : Línea 2 del Metro de Callao y Lima

Año : 2013

Prospección	Procedencia	Prof. Media (m)	SUCS	W (%)	Yap (kN/m3)
CP - 24	L2.Geodata 2013 P2	21.0	GW	nd	23
CP - 25	L2.Geodata 2013 P2	7.0	GP	nd	21.5
CP - 25	L2.Geodata 2013 P2	14.0	GP	nd	22
CP - 25	L2.Geodata 2013 P2	21.0	GP	nd	23.3
CP - 26	L2.Geodata 2013 P2	7.0	GP	nd	23.4
CP - 26	L2.Geodata 2013 P2	14.0	GP	nd	23.6
CP - 26	L2.Geodata 2013 P2	21.0	GP	nd	24
CP - 26	L2.Geodata 2013 P2	28.0	GP	nd	23.9
CP - 27	L2.Geodata 2013 P2	4.0	GP	nd	22.5
CP - 27	L2.Geodata 2013 P2	9.0	GP	nd	22.9
CP - 27	L2.Geodata 2013 P2	14.0	GW	nd	23.7
CP - 27	L2.Geodata 2013 P2	19.0	GP	nd	23.2
CP - 27	L2.Geodata 2013 P2	24.0	GW	nd	23.5
CP - 27	L2.Geodata 2013 P2	30.0	GW-GM	nd	23.4
CP - 28	L2.Geodata 2013 P2	4.0	GP - GM	nd	24.8
CP - 28	L2.Geodata 2013 P2	9.0	GP	nd	24.2
CP - 28	L2.Geodata 2013 P2	14.0	GP - GM	nd	21.7
CP - 28	L2.Geodata 2013 P2	19.0	GP	nd	23.2
CP - 28	L2.Geodata 2013 P2	24.0	GW - GM	nd	22
CP - 28	L2.Geodata 2013 P2	30.0	GP	nd	2.5
CP - 29	L2.Geodata 2013 P2	4.0	GP	nd	22.1
CP - 29	L2.Geodata 2013 P2	9.0	GP	nd	22.8
CP - 29	L2.Geodata 2013 P2	14.0	GP	nd	21.8
CP - 29	L2.Geodata 2013 P2	19.0	GP	nd	22.3
CP - 29	L2.Geodata 2013 P2	24.0	GP	nd	22.9
CP - 29	L2.Geodata 2013 P2	30.0	GP	nd	23.1
CP - 30	L2.Geodata 2013 P2	4.0	GW	nd	24
CP - 30	L2.Geodata 2013 P2	9.0	GP	nd	23.4
CP - 30	L2.Geodata 2013 P2	14.0	GW	nd	24
CP - 30	L2.Geodata 2013 P2	19.0	GP	nd	22.7
CP - 30	L2.Geodata 2013 P2	24.0	GP	nd	22.5
CP - 30	L2.Geodata 2013 P2	30.0	GP	nd	23.5
CP - 31	L2.Geodata 2013 P2	6.0	GW	nd	22.8
CP - 31	L2.Geodata 2013 P2	14.0	GW-GM	nd	22.6

UNIVERSIDAD PERUANA DE CIENCIAS APLICADAS
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
PROGRAMA ACADÉMICO DE INGENIERÍA CIVIL

Tesis : Optimización del grado de inclinación de taludes provisionales sin sostenimiento en el Conglomerado de Lima mediante la técnica de Retroanálisis basado en el método de equilibrio límite

Descripción : Ensayos de densidad de campo del Proyecto Línea 2 y Ramal Av. Faucett - Av. Gambetta del Metro de Lima y Callao realizado por GEODATA

Solicitante : Línea 2 del Metro de Callao y Lima

Año : 2013

Prospección	Procedencia	Prof. Media (m)	SUCS	W (%)	Yap (kN/m3)
CP – 31	L2.Geodata 2013 P2	21.0	GP	nd	23.7
CP – 31	L2.Geodata 2013 P2	28.0	GP	nd	23.9
CP – 32	L2.Geodata 2013 P2	7.0	GW	nd	23.6
CP – 32	L2.Geodata 2013 P2	14.0	GP	nd	23
CP – 32	L2.Geodata 2013 P2	21.0	GW	nd	23.9
CP – 32	L2.Geodata 2013 P2	28.0	GP	nd	24
CP - 33	L2.Geodata 2013 P2	7.0	GP	nd	23.3
CP - 33	L2.Geodata 2013 P2	14.0	GP	nd	24.5
CP – 34	L2.Geodata 2013 P2	4.8	GP	nd	21.4
CP – 34	L2.Geodata 2013 P2	9.0	SM	nd	17.7
CP – 34	L2.Geodata 2013 P2	14.0	GP	nd	22.4
CP – 34	L2.Geodata 2013 P2	19.0	GP	nd	23.7
CP – 35	L2.Geodata 2013 P2	4.8	GP	nd	23.9
CP – 35	L2.Geodata 2013 P2	9.2	GW	nd	24.4
CP – 35	L2.Geodata 2013 P2	13.5	GP-PC	nd	21.4
CP – 35	L2.Geodata 2013 P2	18.5	GP	nd	23.7
CP – 35	L2.Geodata 2013 P2	25.0	GP	nd	23.9
CP – 35	L2.Geodata 2013 P2	30.0	GP	nd	24.2
CP - 36	L2.Geodata 2013 P2	4.0	GP	nd	19.6
CP - 36	L2.Geodata 2013 P2	9.0	GP	nd	20.8
CP - 37	L2.Geodata 2013 P2	4.0	GW	nd	21.7
CP - 37	L2.Geodata 2013 P2	9.0	GP	nd	21.2
CP - 37	L2.Geodata 2013 P2	14.0	GW	nd	21.8
CP - 38	L2.Geodata 2013 P2	7.0	GP	nd	22.2
CP - 38	L2.Geodata 2013 P2	14.0	GP	nd	22
CP - 38	L2.Geodata 2013 P2	21.5	GP	nd	22.7
CP - 40	L2.Geodata 2013 P2	7.0	GP	nd	22.3
CP - 40	L2.Geodata 2013 P2	14.0	GP	nd	24.4
CP - 40	L2.Geodata 2013 P2	21.0	GP-GM	nd	24
CP - 40	L2.Geodata 2013 P2	28.0	SP	nd	19.1
CP – 41	L2.Geodata 2013 P2	4.5	GP	nd	22.4
CP – 41	L2.Geodata 2013 P2	9.0	GP	nd	22.5
CP – 41	L2.Geodata 2013 P2	14.0	GP	nd	23.8
CP – 41	L2.Geodata 2013 P2	19.0	GP	nd	21.7

UNIVERSIDAD PERUANA DE CIENCIAS APLICADAS
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
PROGRAMA ACADÉMICO DE INGENIERÍA CIVIL

Tesis : Optimización del grado de inclinación de taludes provisionales sin sostenimiento en el Conglomerado de Lima mediante la técnica de Retroanálisis basado en el método de equilibrio límite

Descripción : Ensayos de densidad de campo del Proyecto Línea 2 y Ramal Av. Faucett - Av. Gambetta del Metro de Lima y Callao realizado por GEODATA

Solicitante : Línea 2 del Metro de Callao y Lima

Año : 2013

Prospección	Procedencia	Prof. Media (m)	SUCS	W (%)	Yap (kN/m3)
CP – 41	L2.Geodata 2013 P2	24.0	GP	nd	22.1
CP – 41	L2.Geodata 2013 P2	30.0	GP - GM	nd	23.4
CP – 44	L2.Geodata 2013 P2	7.0	GP	nd	23.5
CP – 44	L2.Geodata 2013 P2	14.0	GP	nd	23.4
CP – 44	L2.Geodata 2013 P2	21.0	GP	nd	22.5
CC-6	L2.Geodata 2013 P2	5.0	ML	nd	18.5
CC-6	L2.Geodata 2013 P2	10.0	SM	nd	18.9
CC-7	L2.Geodata 2013 P2	5.0	GW	nd	22.2
CC-7	L2.Geodata 2013 P2	10.0	GP	nd	22
CC-8	L2.Geodata 2013 P2	7.5	GP	nd	21.9
CC-8	L2.Geodata 2013 P2	15.0	GP	nd	22.8
CC-9	L2.Geodata 2013 P2	7.5	GP	nd	21.7
CC-9	L2.Geodata 2013 P2	15.0	GP	nd	21.9
CC-10	L2.Geodata 2013 P2	5.0	GP	nd	21.2
CC-11	L2.Geodata 2013 P2	5.0	GP	nd	21.5
CC-12	L2.Geodata 2013 P2	5.0	GW	nd	21.2
CC-12	L2.Geodata 2013 P2	10.0	GP	nd	21.3
CC-13	L2.Geodata 2013 P2	5.0	GW	nd	22.1
CC-13	L2.Geodata 2013 P2	10.0	GP	nd	22.3

UNIVERSIDAD PERUANA DE CIENCIAS APLICADAS
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
PROGRAMA ACADÉMICO DE INGENIERÍA CIVIL

Tesis : Optimización del grado de inclinación de taludes provisionales sin sostenimiento en el Conglomerado de Lima mediante la técnica de Retroanálisis basado en el método de equilibrio límite

Descripción : Ensayos presiométricos del Proyecto Línea 2 y Ramal Av. Faucett - Av. Gambetta del Metro de Lima y Callao realizado por GEODATA

Solicitante : Línea 2 del Metro de Callao y Lima

Año : 2013

POZO	PROF (m)	Ciclo	Ep (MPa)	Ep (kPa)	Módulo edométrico y elástico (Menard) kN/m2				
					delta	v	Em (kPa)	E (kPa)	E (MPa)
P-2	6.0	I ciclo	58	58000	0.25	0.3	232000	172342.8	172
P-2	11.0	I ciclo	270	270000	0.25	0.3	1080000	802285.7	802
P-2	17.0	I ciclo	270	270000	0.25	0.3	1080000	802285.7	802
P-2	23.0	I ciclo	142	142000	0.25	0.3	568000	421942.8	422
P-2	26.0	I ciclo	168	168000	0.25	0.3	672000	499200	499
P-2	31.0	I ciclo	187	187000	0.25	0.3	748000	555657.1	556
P-2	39.0	I ciclo	61	61000	0.25	0.3	244000	181257.1	181
P-2	42.0	I ciclo	23	23000	0.25	0.3	92000	68342.8	68
P-3	5.0	I ciclo	29	29000	0.25	0.3	116000	86171.4	86
P-3	10.0	I ciclo	69	69000	0.25	0.3	276000	205028.5	205
P-3	15.0	I ciclo	30	30000	0.25	0.3	120000	89142.8	89
P-3	20.0	I ciclo	22	22000	0.25	0.3	88000	65371.4	65
P-3	26.0	I ciclo	53	53000	0.25	0.3	212000	157485.7	157
P-3	29.0	I ciclo	111	111000	0.25	0.3	444000	329828.5	330
P-3	34.0	I ciclo	36	36000	0.25	0.3	144000	106971.4	107
P-3	39.0	I ciclo	46	46000	0.25	0.3	184000	136685.7	137
P-6	7.0	I ciclo	117	117000	0.25	0.3	468000	347657.1	348
P-6	11.0	I ciclo	134	134000	0.25	0.3	536000	398171.4	398
P-6	17.0	I ciclo	186	186000	0.25	0.3	744000	552685.7	553
P-6	21.0	I ciclo	212	212000	0.25	0.3	848000	629942.8	630
P-6	27.0	I ciclo	191	191000	0.25	0.3	764000	567542.8	568
P-6	30.0	I ciclo	214	214000	0.25	0.3	856000	635885.7	636
P-6	35.0	I ciclo	139	139000	0.25	0.3	556000	413028.5	413
P-6	37.0	I ciclo	94	94000	0.25	0.3	376000	279314.2	279
P-7	5.0	I ciclo	321	321000	0.25	0.3	1284000	953828.5	954
P-7	11.0	I ciclo	90	90000	0.25	0.3	360000	267428.5	267
P-7	15.0	I ciclo	111	111000	0.25	0.3	444000	329828.5	330
P-7	20.0	I ciclo	96	96000	0.25	0.3	384000	285257.1	285
P-7	24.0	I ciclo	193	193000	0.25	0.3	772000	573485.7	573
P-7	31.0	I ciclo	153	153000	0.25	0.3	612000	454628.5	455
P-7	36.0	I ciclo	53	53000	0.25	0.3	212000	157485.7	157
P-7	39.0	I ciclo	163	163000	0.25	0.3	652000	484342.8	484
P-9	4.0	I ciclo	234	234000	0.25	0.3	936000	695314.2	695
P-9	9.0	I ciclo	248	248000	0.25	0.3	992000	736914.2	737
P-9	15.0	I ciclo	190	190000	0.25	0.3	760000	564571.4	565
P-9	22.0	I ciclo	231	231000	0.25	0.3	924000	686400	686
P-9	25.0	I ciclo	290	290000	0.25	0.3	1160000	861714.2	862
P-9	30.0	I ciclo	227	227000	0.25	0.3	908000	674514.2	675
P-9	37.0	I ciclo	408	408000	0.25	0.3	1632000	1212342.8	1212
P-9	42.0	I ciclo	287	287000	0.25	0.3	1148000	852800	853
Nº de datos			40	40	-	-	40	40	40
Valor máxima			408	408000	-	-	1632000	1212342.8	1212
Valor mínimo			22	22000	-	-	88000	65371.4	65
Promedio			154	153925	-	-	615700	457377	457
Desviación estándar			95	94611	-	-	378444	281130	281

UNIVERSIDAD PERUANA DE CIENCIAS APLICADAS
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
PROGRAMA ACADÉMICO DE INGENIERÍA CIVIL

Tesis : Optimización del grado de inclinación de taludes provisionales sin sostenimiento en el Conglomerado de Lima mediante la técnica de Retroanálisis basado en el método de equilibrio límite

Descripción : Ensayos presiométricos del Proyecto Línea 2 y Ramal Av. Faucett - Av. Gambetta del Metro de Lima y Callao realizado por GEODATA

Solicitante : Línea 2 del Metro de Callao y Lima

Año : 2013

POZO	PROF (m)	Ciclo	Ep (MPa)	Ep (kPa)	Módulo edométrico y elástico (Menard) kN/m2				
					delta	v	Em (kPa)	E (kPa)	E (MPa)
P-2	6.0	II ciclo	379	379000	0.25	0.3	1516000	1126171.4	1126
P-2	11.0	II ciclo	389	389000	0.25	0.3	1556000	1155885.7	1156
P-2	17.0	II ciclo	404	404000	0.25	0.3	1616000	1200457.1	1200
P-2	23.0	II ciclo	654	654000	0.25	0.3	2616000	1943314.2	1943
P-2	26.0	II ciclo	448	448000	0.25	0.3	1792000	1331200	1331
P-2	31.0	II ciclo	313	313000	0.25	0.3	1252000	930057.1	930
P-2	39.0	II ciclo	64	64000	0.25	0.3	256000	190171.4	190
P-2	42.0	II ciclo	44	44000	0.25	0.3	176000	130742.8	131
P-3	5.0	II ciclo	94	94000	0.25	0.3	376000	279314.2	279
P-3	10.0	II ciclo	220	220000	0.25	0.3	880000	653714.2	654
P-3	15.0	II ciclo	92	92000	0.25	0.3	368000	273371.4	273
P-3	20.0	II ciclo	54	54000	0.25	0.3	216000	160457.1	160
P-3	26.0	II ciclo	153	153000	0.25	0.3	612000	454628.5	455
P-3	29.0	II ciclo	180	180000	0.25	0.3	720000	534857.1	535
P-3	34.0	II ciclo	82	82000	0.25	0.3	328000	243657.1	244
P-3	39.0	II ciclo	148	148000	0.25	0.3	592000	439771.4	440
P-6	7.0	II ciclo	320	320000	0.25	0.3	1280000	950857.1	951
P-6	11.0	II ciclo	251	251000	0.25	0.3	1004000	745828.5	746
P-6	17.0	II ciclo	439	439000	0.25	0.3	1756000	1304457.1	1304
P-6	21.0	II ciclo	244	244000	0.25	0.3	976000	725028.5	725
P-6	27.0	II ciclo	234	234000	0.25	0.3	936000	695314.2	695
P-6	30.0	II ciclo	213	213000	0.25	0.3	852000	632914.2	633
P-6	35.0	II ciclo	358	358000	0.25	0.3	1432000	1063771.4	1064
P-6	37.0	II ciclo	250	250000	0.25	0.3	1000000	742857.1	743
P-7	5.0	II ciclo	535	535000	0.25	0.3	2140000	1589714.2	1590
P-7	11.0	II ciclo	277	277000	0.25	0.3	1108000	823085.7	823
P-7	15.0	II ciclo	216	216000	0.25	0.3	864000	641828.5	642
P-7	20.0	II ciclo	287	287000	0.25	0.3	1148000	852800	853
P-7	24.0	II ciclo	513	513000	0.25	0.3	2052000	1524342.8	1524
P-7	31.0	II ciclo	322	322000	0.25	0.3	1288000	956800	957
P-7	36.0	II ciclo	130	130000	0.25	0.3	520000	386285.7	386
P-7	39.0	II ciclo	222	222000	0.25	0.3	888000	659657.1	660
P-9	4.0	II ciclo	418	418000	0.25	0.3	1672000	1242057.1	1242
P-9	9.0	II ciclo	642	642000	0.25	0.3	2568000	1907657.1	1908
P-9	15.0	II ciclo	457	457000	0.25	0.3	1828000	1357942.8	1358
P-9	22.0	II ciclo	598	598000	0.25	0.3	2392000	1776914.2	1777
P-9	25.0	II ciclo	663	663000	0.25	0.3	2652000	1970057.1	1970
P-9	30.0	II ciclo	559	559000	0.25	0.3	2236000	1661028.5	1661
P-9	37.0	II ciclo	615	615000	0.25	0.3	2460000	1827428.5	1827
P-9	42.0	II ciclo	551	551000	0.25	0.3	2204000	1637257.1	1637
Nº de datos			40	40	-	-	40	40	40
Valor máxima			663	663000	-	-	2652000	1970057.1	1970
Valor minimo			44	44000	-	-	176000	130742.8	131
Promedio			326	325800	-	-	1303200	968091	968
Desviación estándar			184	183869	-	-	735477	546354	546

UNIVERSIDAD PERUANA DE CIENCIAS APLICADAS
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
PROGRAMA ACADÉMICO DE INGENIERÍA CIVIL

Tesis : Optimización del grado de inclinación de taludes provisionales sin sostenimiento en el Conglomerado de Lima mediante la técnica de Retroanálisis basado en el método de equilibrio límite

Descripción : Ensayos presiométricos del Proyecto Línea 2 y Ramal Av. Faucett - Av. Gambetta del Metro de Lima y Callao realizado por GEODATA

Solicitante : Línea 2 del Metro de Callao y Lima

Año : 2013

POZO	PROF (m)	Ciclo	Ep (MPa)	Ep (kPa)	Módulo edométrico y elástico (Menard) kN/m2				
					delta	v	Em (kPa)	E (kPa)	E (MPa)
P-2	6.0	III ciclo	582	582000	0.25	0.3	2328000	1729371.4	1729
P-2	11.0	III ciclo	626	626000	0.25	0.3	2504000	1860114.2	1860
P-2	17.0	III ciclo	559	559000	0.25	0.3	2236000	1661028.5	1661
P-2	23.0	III ciclo	792	792000	0.25	0.3	3168000	2353371.4	2353
P-2	26.0	III ciclo	525	525000	0.25	0.3	2100000	1560000	1560
P-2	31.0	III ciclo	397	397000	0.25	0.3	1588000	1179657.1	1180
P-2	39.0	III ciclo	70	70000	0.25	0.3	280000	208000	208
P-2	42.0	III ciclo	37	37000	0.25	0.3	148000	109942.8	110
P-3	5.0	III ciclo	115	115000	0.25	0.3	460000	341714.2	342
P-3	10.0	III ciclo	191	191000	0.25	0.3	764000	567542.8	568
P-3	15.0	III ciclo	165	165000	0.25	0.3	660000	490285.7	490
P-3	20.0	III ciclo	55	55000	0.25	0.3	220000	163428.5	163
P-3	26.0	III ciclo	151	151000	0.25	0.3	604000	448685.7	449
P-3	29.0	III ciclo	218	218000	0.25	0.3	872000	647771.4	648
P-3	34.0	III ciclo	76	76000	0.25	0.3	304000	225828.5	226
P-3	39.0	III ciclo	143	143000	0.25	0.3	572000	424914.2	425
P-6	7.0	III ciclo	344	344000	0.25	0.3	1376000	1022171.4	1022
P-6	11.0	III ciclo	354	354000	0.25	0.3	1416000	1051885.7	1052
P-6	17.0	III ciclo	578	578000	0.25	0.3	2312000	1717485.7	1717
P-6	21.0	III ciclo	256	256000	0.25	0.3	1024000	760685.7	761
P-6	27.0	III ciclo	164	164000	0.25	0.3	656000	487314.2	487
P-6	30.0	III ciclo	210	210000	0.25	0.3	840000	624000	624
P-6	35.0	III ciclo	421	421000	0.25	0.3	1684000	1250971.4	1251
P-6	37.0	III ciclo	280	280000	0.25	0.3	1120000	832000	832
P-7	5.0	III ciclo	601	601000	0.25	0.3	2404000	1785828.5	1786
P-7	11.0	III ciclo	390	390000	0.25	0.3	1560000	1158857.1	1159
P-7	15.0	III ciclo	318	318000	0.25	0.3	1272000	944914.2	945
P-7	20.0	III ciclo	451	451000	0.25	0.3	1804000	1340114.2	1340
P-7	24.0	III ciclo	459	459000	0.25	0.3	1836000	1363885.7	1364
P-7	31.0	III ciclo	563	563000	0.25	0.3	2252000	1672914.2	1673
P-7	36.0	III ciclo	188	188000	0.25	0.3	752000	558628.5	559
P-7	39.0	III ciclo	222	222000	0.25	0.3	888000	659657.1	660
P-9	4.0	III ciclo	434	434000	0.25	0.3	1736000	1289600	1290
P-9	9.0	III ciclo	628	628000	0.25	0.3	2512000	1866057.1	1866
P-9	15.0	III ciclo	589	589000	0.25	0.3	2356000	1750171.4	1750
P-9	22.0	III ciclo	767	767000	0.25	0.3	3068000	2279085.7	2279
P-9	25.0	III ciclo	839	839000	0.25	0.3	3356000	2493028.5	2493
P-9	30.0	III ciclo	678	678000	0.25	0.3	2712000	2014628.5	2015
P-9	37.0	III ciclo	767	767000	0.25	0.3	3068000	2279085.7	2279
P-9	42.0	III ciclo	567	567000	0.25	0.3	2268000	1684800	1685
Nº de datos			40	40	-	-	40	40	40
Valor máxima			839	839000	-	-	3356000	2493028.5	2493
Valor minimo			37	37000	-	-	148000	109942.8	110
Promedio			394	394250	-	-	1577000	1171486	1172
Desviación estándar			230	229848	-	-	919393	682977	683

ANEXO 3: PLANOS

Código	Ubicación
ER - 1	Cerca al Hospital Rebagliati. Alt Cdra. 14 Av. Arenales
ER - 2	Cruce Jirones Cusco y Camaná
ER - 3	Cruce Av. Abancay y Av. Nicolás de Piérola
ER - 4	Banco de Vivienda (Av. Emancipación y Jirón Camaná) - Cercado de Lima
ER - 5	Terreno de la Beneficiencia Pública (Av. Abancay Cdra. 14 y Nicolas de Pieróla) - Cercado de Lima
ER - 6	Campus UNMSM (Intercambio Vial Av. Universitaria y Venezuela Lima)
ER - 7	Acantilado de la Costa Verde Malecón de La Marina - Miraflores
ER - 8	Intersección Av. Izaguirre y Panamericana Norte
ER - 9	Centro Empresarial San Isidro, cruce Av. República de Panamá y Calles Miguel Seminario y San Cristobal, San isidro
ER - 10	Hotel Larcomar (Miraflores - Lima)
ER - 11	Hotel Larcomar (Miraflores - Lima)
ER - 12	Proyecto Vía Parque Rímac
ER - 13	Sector Santa Anita (10.5 m) Pico
ER - 14	Sector Santa Anita (10.5 m) Residual
ER - 15	Av. Salaverry, Hospital del Empleado
ER - 16	Sector Santa Anita (20m) Pico
ER - 17	Sector santa Anita (20m) Residual
ER - 18	Carretera Central Km. 14.8 Ate Vitarte, Lima

ESTUDIOS DE MECÁNICA DE SUELOS

EMS	Ubicación
EMS - 01	Centro Empresarial El Derby, Surco
EMS - 02	Edificio Benavides, Miraflores
EMS - 03	Construcción de Estacionamientos Subterráneos, Miraflores
EMS - 04	Edificio Pezet, San Isidro
EMS - 05	Hotel y Oficinas Talbot, San Isidro
EMS - 06	Edificio Hotel Attko, Miraflores
EMS - 07	Edificio Torre Tekton, San Isidro
EMS - 08	Edificio Multifamiliar Bolognesi, Miraflores
EMS - 09	Edificio Juan de Aliaga, Magdalena del Mar

SONDEO

P-01	46.00	P-09	50.00
P-02	46.50	P-10	50.00
P-03	40.00	P-13	9.00
P-04	35.20	P-15	35.00
P-5A	50.00	P-16	35.00
P-06	40.00	P-17	40.00
P-07	40.20	P-18	40.00
P-08	40.00	P-19	49.80

CALICATAS

CP-01	27.0	CP-23	13.0
CP-02	27.0	CP-24	23.5
CP-03	30.0	CP-25	28.0
CP-04	28.0	CP-26	28.0
CP-05	28.0	CP-27	30.0
CP-06	28.0	CP-28	30.0
CP-07	30.0	CP-29	30.0
CP-08	30.0	CP-30	30.0
CP-09	28.0	CP-31	28.0
CP-10	28.0	CP-32	28.0
CP-11	28.0	CP-33	17.7
CP-12	30.0	CP-34	19.0
CP-13	28.0	CP-35	30.0
CP-14	28.0	CP-36	13.2
CP-15	28.5	CP-37	19.0
CP-16	30.0	CP-38	23.5
CP-17	31.0	CP-40	28.0
CP-18	28.0	CP-41	30.0
CP-19	28.0	CP-44	24.4
CP-20	28.0	CC-06	10.0
CP-21	30.0	CC-07	10.0
CP-23	13.0	CC-08	15.0
CC-01	15.0	CC-09	15.0
CC-02	14.0	CC-10	7.5
CC-03	15.0	CC-11	9.2
CC-04	22.0	CC-12	10.0
CC-05	13.0	CC-13	10.0
CP-22	18.5

SONDEO

P-01	46.00	P-09	50.00
P-02	46.50	P-10	50.00
P-03	40.00	P-13	9.00
P-04	35.20	P-15	35.00
P-5A	50.00	P-16	35.00
P-06	40.00	P-17	40.00
P-07	40.20	P-18	40.00
P-08	40.00	P-19	49.80

CALICATAS

CP-01	27.0	CP-23	13.0
CP-02	27.0	CP-24	23.5
CP-03	30.0	CP-25	28.0
CP-04	28.0	CP-26	28.0
CP-05	28.0	CP-27	30.0
CP-06	28.0	CP-28	30.0
CP-07	30.0	CP-29	30.0
CP-08	30.0	CP-30	30.0
CP-09	28.0	CP-31	28.0
CP-10	28.0	CP-32	28.0
CP-11	28.0	CP-33	17.7
CP-12	30.0	CP-34	19.0
CP-13	28.0	CP-35	30.0
CP-14	28.0	CP-36	13.2
CP-15	28.5	CP-37	19.0
CP-16	30.0	CP-38	23.5
CP-17	31.0	CP-40	28.0
CP-18	28.0	CP-41	30.0
CP-19	28.0	CP-44	24.4
CP-20	28.0	CC-06	10.0
CP-21	30.0	CC-07	10.0
CP-23	13.0	CC-08	15.0
CC-01	15.0	CC-09	15.0
CC-02	14.0	CC-10	7.5
CC-03	15.0	CC-11	9.2
CC-04	22.0	CC-12	10.0
CC-05	13.0	CC-13	10.0
CP-22	18.5

ENSAYOS RECOPIRADOS DEL CONGLOMERADO DE LIMA

SIMBOLOGIA	DESCRIPCION
Ensayos recopilados a gran escala
Estudios de mecánica de suelos
Ensayos recopilados de la línea 2 del Metro de Lima – Calicatas
Ensayos recopilados de la línea 2 del Metro de Lima – Sondes

OPTIMIZACIÓN DEL GRADO DE INCLINACIÓN DE TALUDES PROVISIONALES SIN SOSTENIMIENTO EN EL CONGLOMERADO DE LIMA MEDIANTE LA TÉCNICA DE RETROANÁLISIS BASADO EN EL MÉTODO DE EQUILIBRIO LÍMITE

Autor:
Ana Belén Osorio Tumbalobos
Asesor:
Jorge Cardenas Guillén
Universidad:
Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas

Escala:
1 : 50 000
Fecha:
Febrero 2020
Programa:
Programa Académico de Ingeniería Civil

Descripción

PLANO GENERAL

PLANO:

PL-05

ANEXO 4: ENCUESTA

Nombre	Edward Díaz
Empresa	RGB Movimiento de tierra EIRL
Cargo	Gerente de operaciones

Rampas de acceso a obra para maquinaria en excavaciones profundas

Ítem	Pregunta	Respuesta
1	¿Trabaja o ha trabajado en Obras en Lima Metropolitana?	Si
2	¿En cuántas obras aproximadamente?	Más de 50 desde que ingresó a la empresa. RGB ha realizado las mayores obras de MVT en Lima y es una de las empresas más importantes del sector.
3	¿Cuál es la profundidad máxima a la que ha llegado?	-38.00
4	¿De cuántos sótanos?	11 sótanos
5	¿Considera la grava de Lima un material bueno para la construcción?	Sí, es un material que gracias a sus características permite tener favorablemente.
6	En las obras de excavación profunda, ¿en cuántas utilizó una rampa de acceso para los vehículos?	En la mayoría.
7	¿Conoce si siguen alguna normativa o parámetros para su construcción?	No
8	¿Cuáles son estas normativas y/o recomendaciones para las rampas?	No conozco la normativa, me parece que no existe.
9	De ser el caso no, ¿en que basan las decisiones para la construcción de estas rampas?	Se intenta que sea lo más vertical, dándole un ángulo de 1 en 2 hasta llegar a 1 en 3. Depende de la obra.
10	¿Quién es el encargado de tomar la decisión con respecto a estas medidas?	El ingeniero residente junto a la empresa de movimiento de tierras.
11	¿Qué talud se utiliza generalmente?	Se opta por un talud de 1 en 3 o 1 en 2
12	¿Qué pendiente se utiliza generalmente?	Pendiente de 15 hasta de 12%.
13	¿Cuál es el ancho de la rampa?	Generalmente se utiliza 5 metros
14	¿Cuál es la maquinaria más pesada que circula por la rampa?	Un volquete cargado de dos ejes
15	¿Alguna indicación adicional acerca de la rampa?	Por el tipo de suelo de Lima se suele echar una capa de concreto simple para favorecer a la estabilidad del talud.

UNIVERSIDAD PERUANA DE CIENCIAS APLICADAS
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
PROGRAMA ACADÉMICO DE INGENIERÍA CIVIL

Nombre	Luis Raygada Rojas
Empresa	INCOTEC
Cargo	Gerente de ingeniería

Rampas de acceso a obra para maquinaria en excavaciones profundas

Ítem	Pregunta	Respuesta
1	¿Trabaja o ha trabajado en Obras en Lima Metropolitana?	Si
2	¿En cuántas obras aproximadamente?	Más de 100. Más de 10 años en el rubro (2010)
3	¿Cuál es la profundidad máxima a la que ha llegado?	-35.00 m. Edificio Ichma en San Isidro.
4	¿De cuántos sótanos?	12 sótanos
5	¿Considera la grava de Lima un material bueno para la construcción?	Definitivamente. En especial Miraflores, San Isidro, Los Olivos y San Martín de Porres. La grava es más consolidada a medida que se aleja de la formación del río, tendrá mejores características.
6	En las obras de excavación profunda, ¿en cuántas utilizó una rampa de acceso para los vehículos?	En el 95% de las obras. La utilizamos hasta en 4 o 5 sótanos dependiendo del área.
7	¿Conoce si siguen alguna normativa o parámetros para su construcción?	No, se basan en las buenas características de la grava.
8	¿Cuáles son estas normativas y/o recomendaciones para las rampas?	
9	De ser el caso no, ¿en que basan las decisiones para la construcción de estas rampas?	Se guían del criterio pendiente de las rampas para edificaciones.
10	¿Quién es el encargado de tomar la decisión con respecto a estas medidas?	El residente de obra o al menos es el responsable.
11	¿Qué talud se utiliza generalmente?	Se utiliza un talud 1/4, aunque considero que sobre exigen el talud.
12	¿Qué pendiente se utiliza generalmente?	No tengo un número claro, sin embargo, según lo que aguante el camión cargado, que permita su tracción.
13	¿Cuál es el ancho de la rampa?	Por lo menos 4 metros, hay casos puntuales.
14	¿Cuál es la maquinaria más pesada que circula por la rampa?	Volquetes cargados. Una carga dinámica, viva como los mixer que se ponen en la entrada de la rampa o las grúas móviles.
15	¿Alguna indicación adicional acerca de la rampa?	Generalmente se le adiciona una lechada simple a los taludes para crear una especie de costra y que el terreno no pierda humedad natural, es rápida y fácil.

Nombre	Jorge retamozo gonzalez
Empresa	Incotec cimentaciones
Cargo	Residente de obra

Rampas de acceso a obra para maquinaria en excavaciones profundas

Ítem	Pregunta	Respuesta
1	¿Trabaja o ha trabajado en Obras en Lima Metropolitana?	Si
2	¿En cuántas obras aproximadamente?	Mas de 30 obras de anclajes
3	¿Cuál es la profundidad máxima a la que ha llegado?	-36.50 metros,
4	¿De cuántos sótanos?	11 sótanos
5	¿Considera la grava de Lima un material bueno para la construcción?	Si, presta cohesion para excavaciones, no existe NF, alta capacidad portante
6	En las obras de excavación profunda, ¿en cuántas utilizó una rampa de acceso para los vehículos?	El 90%, el resto usa fajas o pasamanos para la excavación,
7	¿Conoce si siguen alguna normativa o parámetros para su construcción?	No conozco una normativa de rampas, pero se trabajan con la estabilidad de talud
8	¿Cuáles son estas normativas y/o recomendaciones para las rampas?	No conozco, pero se revisa estabilidad del talud (en algunos casos)
9	De ser el caso no, ¿en que basan las decisiones para la construcción de estas rampas?	Estabilidad de taludes de acuerdo al tipo de material
10	¿Quién es el encargado de tomar la decisión con respecto a estas medidas?	El encargado de eliminación de material conjuntamente con el residente de obra
11	¿Qué talud se utiliza generalmente?	60 a 70 grados
12	¿Qué pendiente se utiliza generalmente?	Pendiente de 15 a 20
13	¿Cuál es el ancho de la rampa?	No menos de 3 metros, el ancho de un volquete
14	¿Cuál es la maquinaria más pesada que circula por la rampa?	Un volquete cargado, una excavadora sobre orugas o una pilotera sobre orugas
15	¿Alguna indicación adicional acerca de la rampa?	Por el tipo de suelo de lima, se suele confiar demasiado en la estabilidad del talud.

Nombre	CRISTHIAN PUPPI CEVASCO
Empresa	JYV TRANSPORTISTAS GENERALES S RL
Cargo	JEFE DE PROYECTOS

Rampas de acceso a obra para maquinaria en excavaciones profundas

Ítem	Pregunta	Respuesta
1	¿Trabaja o ha trabajado en Obras en Lima Metropolitana?	SI, SI TRABAJAMOS.
2	¿En cuántas obras aproximadamente?	APROX. EN 08 OBRAS
3	¿Cuál es la profundidad máxima a la que ha llegado?	NPT – 25.00 mts.
4	¿De cuántos sótanos?	7 sótanos
5	¿Considera la grava de Lima un material bueno para la construcción?	SI.
6	En las obras de excavación profunda, ¿en cuántas utilizó una rampa de acceso para los vehículos?	EN TODAS, HASTA EL 2DO ANILLO, LUEGO YA EL CARGUIO ES CON UNA SEGUNDA MAQUINA DESDE FUERA.
7	¿Conoce si siguen alguna normativa o parámetros para su construcción?	EN EL RUBRO DE MOV. DE TIERRAS, NORMALMENTE APLICAMOS A LAS NORMATIVA INDICADAS PARA LA OBRA EN GENERAL.
8	¿Cuáles son estas normativas y/o recomendaciones para las rampas?	SOBRE LAS RAMPAS , NO HAY UNA INDICACION,
9	De ser el caso no, ¿en que basan las decisiones para la construcción de estas rampas?	LAS RAMPAS QUE DEJAMOS SE FORMAN DE LA MISMA EXCAVACION(PROCESO) NO LA CONFORMAMOS CON EXCESO DE MOVIMIENTO DE MATERIAL.
10	¿Quién es el encargado de tomar la decisión con respecto a estas medidas?	EL ING. RESIDENTE DE OBRA, EN COORDINACION CON MI PERSONA O EL GERENTE DE LA EMPRESA JYV.
11	¿Qué talud se utiliza generalmente?	12MTS, APROX. DEPENDIENTE DE LA PENDIENTE QUE ME PERMITA EL TERRENO EN SI.

UNIVERSIDAD PERUANA DE CIENCIAS APLICADAS
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
PROGRAMA ACADÉMICO DE INGENIERÍA CIVIL

12	¿Qué pendiente se utiliza generalmente?	12%
13	¿Cuál es el ancho de la rampa?	5 A 7MTS APROX.
14	¿Cuál es la maquinaria más pesada que circula por la rampa?	32 TNL.
15	¿Alguna indicación adicional acerca de la rampa?	
16	Nombre algunas obras y que talud utilizaron (aproximado)	12MTS.

UNIVERSIDAD PERUANA DE CIENCIAS APLICADAS
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
PROGRAMA ACADÉMICO DE INGENIERÍA CIVIL

Nombre	Juan José Quispe Molina
Empresa	ABRIL
Cargo	Residente de Obra

Rampas de acceso a obra para maquinaria en excavaciones profundas

Ítem	Pregunta	Respuesta
1	¿Trabaja o ha trabajado en Obras en Lima Metropolitana?	Si
2	¿En cuántas obras aproximadamente?	8 Obras
3	¿Cuál es la profundidad máxima a la que ha llegado?	Aproximadamente 31.5 metros.
4	¿De cuántos sótanos?	9 sótanos incluido cisterna. Torre Panamá en San Isidro.
5	¿Considera la grava de Lima un material bueno para la construcción?	Depende. Entre los mejores distritos se encuentra San Isidro, Miraflores. Surquillo podría considerarse malo y Lince es regular. Los lentes de finos son el problema.
6	En las obras de excavación profunda, ¿en cuántas utilizó una rampa de acceso para los vehículos?	Todas las obras hasta el sótano 3, luego utilizamos faja, balde, entre otros métodos.
7	¿Conoce si siguen alguna normativa o parámetros para su construcción?	No hay. Se basan en la experiencia de los ingenieros y obras pasadas.
8	¿Cuáles son estas normativas y/o recomendaciones para las rampas?	No hay.
9	De ser el caso no, ¿en que basan las decisiones para la construcción de estas rampas?	En el análisis de la pendiente del camión o volquete. Depende del área y distribución de la obra. Se prefiere tener el menor tiempo posible en obra la rampa.
10	¿Quién es el encargado de tomar la decisión con respecto a estas medidas?	El residente de obra o en otros casos el ingeniero de producción.
11	¿Qué talud se utiliza generalmente?	Al inicio es más $\frac{1}{2}$ y luego va variando.
12	¿Qué pendiente se utiliza generalmente?	15%.
13	¿Cuál es el ancho de la rampa?	4 metros, de acuerdo al ancho de un camión.
14	¿Cuál es la maquinaria más pesada que circula por la rampa?	La más pesada estaría entre un camión, un volquete o una torre grúa (esfuerzos que generan al estar cerca).
15	¿Alguna indicación adicional acerca de la rampa?	Las rampas de acceso con terreno natural son más estables, por las características del suelo, luego pierde estabilidad. En los taludes se vierte una lechada tal cual el pañeteo, simple. Además, en las obras opta por poner mallas raschel para prevenir la caída de bolones más cuando hay trabajadores en la parte inferior.

ANEXO 5: RECOPIACIÓN DE OBRAS RGB

ANEXO RECOPIACIÓN DE OBRAS EJECUTADAS POR RGB MOVIMIENTO DE TIERRA

Se realizó una recopilación de obras ejecutadas por la RGB Movimiento de tierra, considerada como empresa líder dentro del rubro de movimiento de tierras en el sector de construcción a partir del 2016.