REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

Universidad Católica de Santa María

Facultad de Ciencias e Ingenierías Físicas y Formales

Escuela Profesional de Ingeniería de Minas

PROPUESTA DE REDISEÑO DE TALUDES PARA LA ESTABILIDAD FÍSICA EN LA REMEDIACIÓN Y CIERRE DE UN DEPÓSITO DE DESMONTES EN CERRO DE PASCO.

Tesis presentada por el Bachiller:

Villanueva Zavala, Fernán Dharei

Para optar el Título Profesional de:

Ingeniero de Minas

Asesor:

Mg. Lopez Casaperalta, Patricia Yaneth

Arequipa- Perú

2019

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERIAS FISICAS Y FORMALES
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA DE MINAS

INFORME DICTAMINATORIO DE BORRADOR DE TESIS

VISTO

EL BORRADOR DE TESIS TITULADO:
Propuesta de Rediseño de Taludes para la Estabilidad Física en la Remediación y Cierre de un depósito de un Depósito de Desmontes en Cerro de Pasco Arequipa - Perú 2019

PRESENTADO POR (EL) (LOS) BACHILLER (ES):
Villanueva Zavala, Fernán Dharei

NUESTRO DICTAMEN ES:
APROBADO

OBSERVACIONES:
NINGUNA

Arequipa, 23 de agosto del 2019

JURADO DICTAMINADOR
Nombre: Patricia López Casapercalla
Código: 2872

JURADO DICTAMINADOR
Nombre: Fulton Reategui Orodez.
Código: 3119

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERIAS FISICAS Y FORMALES
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA DE MINAS

FORMATO DE OBSERVACIONES DE EJEMPLAR FINAL

V I S T O

EL EJEMPLAR FINAL DE TESIS/TRABAJO INFORME, TITULADO:

PROPUESTA DE REDISEÑO DE TOLVAS PARA LA ESTABILIDAD FISICA EN LA REMEDIACIÓN Y CIERRE DE UN DEPOSITO DE DESMONTE EN CERRO DE PASCO

PRESENTADO POR EL TITULADO:

VILLANUEVA ZAVALA FERNAN DHAREI

TIENE LAS SIGUIENTES OBSERVACIONES:

CAP. y pág.	
IV	COLOCAR LOS DISEÑOS PROPUESTOS DE CADA SECTOR DEL BOTADERO
III	MEJORA Y EXPLICAR LA METODOLOGIA E INDICAR LOS APORTES
I	ESPECIFICAR LAS NORMAS LEGALES QUE JUSTIFICAN EL TRABAJO
	TRANSFORMAR LOS COSTOS A UNITARIOS
	PARA UTILIZARLOS COMO INDICADOR

Firmas del Jurado Evaluador:

PRESIDENTE

VOCAL

SECRETARIO

Levantadas las observaciones formuladas anteriormente, se autoriza la impresión y empastado del ejemplar final.

Arequipa, 16 **de** Octubre **del 2019**

Conformidad al levantamiento de observaciones:

PRESIDENTE

VOCAL

SECRETARIO

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

DEDICATORIA

La presente tesis es para Dios, mis Padres y mi Hermano por apoyarme y alentarme a cumplir mis metas profesionales y personales.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

AGRADECIMIENTOS

Primero gracias a Dios por guiarme a la culminación de la presente tesis, así como de mi carrera profesional.

A mis padres y mi hermano por su apoyo y ayuda incondicional hacia mi persona, y por velar porque logre mis metas y desarrollo personal.

A mis abuelitos quienes me apoyaron los primeros años de mis estudios universitarios.

A la Ing. María Azucena Delgado Ponce, quien con sus enseñanzas, me instruyó y guio para culminar la tesis.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

INTRODUCCIÓN

La minería es una actividad económica la cual se basa en la extracción de minerales, los cuales se han acumulado en el suelo y subsuelo, conformando así grandes yacimientos. Esta actividad tiene una vida larga pero definida, lo cual ocasiona que estas generen grandes cantidades de residuos sólidos, de los cuales los más resaltantes por su volumen son, los estériles (desmonte) y los relaves. En el campo, el desmonte es normalmente fragmentado con el uso de explosivos, y luego es transportado por camiones de gran dimensión (acarreo) hacia depósitos ubicados estratégicamente.

Como parte de la actividad minera, cada empresa dispone de un plan de cierre y remediación ambiental, el cual se basa, en pocas palabras, en dejar el ambiente o zona explotada tal y como era antes; para lograr este objetivo, se realizan una serie de estudios, dentro de los cuales se encuentran los de estabilidad física de los taludes de los botaderos para poder llegar a un factor de seguridad superior a la unidad, y así evitar los posibles deslizamientos.

Entre los ensayos realizados podemos encontrar los que se realizan en campo (toma de muestras), y los de laboratorio, los cuales nos darán datos más reales y precisos sobre el material que compone el depósito y sobre sus parámetros geotécnicos, los cuales serán utilizados por un software especializado para el análisis de estabilidad de taludes.

Un depósito de desmontes mineros es considerado como suelo, por lo cual se ha empleado el software de reconocida confiabilidad SLIDE de Rocscience. Este programa se basa en los parámetros de resistencia del suelo (peso específico, cohesión y fricción) y las características geométricas del talud, para lo cual se tomaron secciones representativas consideradas como las más críticas.

Por ende en esta tesis se analizará la estabilidad física presente en el depósito de desmontes de una unidad minera en Cerro de Pasco, tomando taludes críticos como referencia así como los parámetros geotécnicos presentes, mediante el software SLIDE. Con estos resultados se desarrollarán (diseñaran) taludes propuestos para poder lograr la estabilidad física y un aumento en el factor de seguridad, mediante el cambio en la geometría de los taludes.

Como resultado final se tendrá una comparativa entre los taludes actuales y los taludes propuestos, lo cual permitirá entregar un análisis y una propuesta para la reconfiguración y estabilización de los taludes del botadero como parte del proceso de cierre y remediación.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

RESUMEN

El presente trabajo propone el rediseño de los taludes de un depósito de desmontes ubicado en la ciudad de Cerro de Pasco con el fin de lograr la estabilidad física del mismo preparándolo así para las actividades posteriores de cierre y remediación, evitando el alto potencial de deslizamientos y disminuyendo el riesgo en la generación de daños para el ecosistema y la población.

Este depósito recibió inicialmente los desechos sólidos (material estéril) provenientes del principal tajo de Cerro de Pasco, el Tajo Raúl Rojas, en el cual era explotado mineral de cobre y posteriormente plomo y zinc; dando como resultado un alto contenido de sulfuros en el botadero, lo cual representa un grave peligro para el ecosistema y los pobladores de la zona por el drenaje ácido de roca y la alta probabilidad de deslizamientos.

En el trabajo de investigación a continuación se presenta el análisis de estabilidad del depósito de desmontes para determinar las condiciones de estabilidad de los taludes presentes mediante el método simplificado de Bishop, con ayuda del software SLIDE v6.0 de Rocscience, tanto para condiciones estáticas como sísmicas. Se obtienen previamente por un análisis de la situación actual, factores de seguridad por debajo del mínimo recomendado (1.5 y 1.1) por lo cual dos de las ocho secciones de análisis dispuestas transversalmente al botadero, se consideran inestables físicamente, representando una probabilidad alta de falla o deslizamientos. Es por ello que se propone realizar un rediseño de los taludes del depósito de desmontes, disminuyendo el ángulo de estos y construyendo bancos a lo largo del talud.

En conclusión los resultados del análisis de estabilidad de los taludes rediseñados propuestos indican que para las condiciones proyectadas (tomando en cuenta los parámetros geotécnicos) el factor de seguridad hallado es superior al mínimo recomendado, por lo cual resulta favorable y así garantiza una estructura segura.

Palabras claves: Análisis de estabilidad de taludes, Depósito de desmontes, Parámetros geotécnicos, Método de Bishop, Software SLIDE.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

ABSTRACT

This paper propose the redesign of the slopes of a waste rock deposit located in the city of Cerro de Pasco in order to achieve the physical stability of the same, preparing it for the subsequent activities of closure and remediation, avoiding the high potential of landslides and decreasing the risk in generating damage to the ecosystem and the population.

This deposit initially received solid waste (sterile material) from the main open pit of Cerro de Pasco, Raul Rojas pit, in which, copper ore and then lead and zinc were mined; resulting in a high sulfur content in the dump, which represents a serious danger to the ecosystem and the inhabitants of the area due to acid rock drainage and the high probability of landslides.

In the paper, the stability analysis of the waste rock deposit is presented to determine the stability conditions of the slopes present by Bishop's simplified method, with the help of Rocscience software SLIDE v6.0, for both static and seismic conditions. Thus, the safety factors obtained previously by an analysis of the current situation, are below the recommended minimum (1.5 and 1.1), therefore, two of the eight analysis sections arranged transversally to the dump, are considered physically unstable, representing a high probability of failure or landslides. That is why it is proposed to redesign the slopes of the waste rock deposit, decreasing its angle and building banks along the slope.

In conclusion, the results of the stability analysis of the proposed redesigned slopes indicate that for the projected conditions (taking into account the geotechnical parameters) the found safety factor is higher than the recommended minimum, which is favorable and thus guarantees a safe structure.

Keywords: Slope stability analysis, waste rock deposit, Geotechnical parameters, Bishop method, Software SLIDE.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

ÍNDICE

DEDICATORIA

AGRADECIMIENTO

INTRODUCCIÓN iv

RESUMEN v

ABSTRACT vi

CAPÍTULO I 1

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA 1

1.1. Problema De Investigación 1

1.1.1. Identificación del problema 1

1.1.2. Descripción del problema 1

1.1.3. Justificación del problema 2

1.1.4. Formulación del problema 3

1.2. Objetivos 3

1.2.1. Objetivo general 3

1.2.2. Objetivos específicos 3

1.3. Alcances Y Limitaciones 4

1.3.1. Alcances 4

1.3.2. Limitaciones 4

1.4. Hipótesis 5

1.5. Análisis De Variables 5

1.5.1. Variable independiente 5

1.5.2. Variables dependientes 5

1.5.3. Operacionalización de variables 5

1.6. Tipo De Investigación 7

CAPÍTULO II 8

MARCO TEÓRICO 8

2.1. Antecedentes Investigativos 8

2.2. Generalidades 9

2.2.1. Ubicación y acceso 9

2.2.2. Marco legal 10

2.2.3. Geología 10

2.3. Conceptos Básicos En La Exploración De Campo 11

2.3.1. Excavación de calicatas y trincheras 11

2.3.2. Ensayo de densidad de campo (Método de balón de caucho) 12

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

2.3.3. Prospección geofísica mediante Refracción Sísmica 13
2.4. Conceptos Básicos En El Análisis De Estabilidad De Taludes 15
2.4.1. Criterio de Rotura de Mohr-Coulomb 15
2.4.2. El Círculo de Mohr 16
2.4.3. Métodos de Equilibrio Límite 18
2.4.4. Método Simplificado de Bishop 19
2.4.5. Análisis Pseudoestático: Coeficiente Sísmico 22
2.4.6. Métodos de estabilización: Modificación de la geometría del talud 24
2.5. Glosario De Términos 25
CAPÍTULO III 28
TOMA DE MUESTRAS – CASO DE ESTUDIO 28
3.1. Generalidades 28
3.1.1. Geología y geomorfología 28
3.1.2. Topografía 28
3.2. Identificación De Parámetros Geotécnicos. 30
3.2.1. Exploración de campo 30
3.2.2. Ensayos de laboratorio 36
3.2.3. Descripción Estratigráfica 39
3.3. Análisis de Estabilidad de Taludes: Situación Actual 46
3.3.1. Criterios y método de análisis 46
3.3.2. Secciones de análisis 47
3.3.3. Sismicidad en el área 49
3.3.4. Parámetros de resistencia 49
3.3.5. Factores de seguridad 50
3.4. Conclusiones 51
CAPÍTULO IV 53
ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS 53
4.1. Resultados del análisis de estabilidad de taludes 53
4.1.1. Factores de seguridad obtenidos 53
4.1.2. Comparación con los factores de seguridad mínimos recomendados 54
4.2. Discusión 55
4.2.1. Medidas de Estabilidad – Propuestas de mejora 55
4.2.2. Resultados de las secciones analizadas con el diseño propuesto 65
4.3. Movimiento de Tierras 66
4.3.1. Cálculo de tiempos 67
4.3.2. Cálculo de equipos 68

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

CONCLUSIONES 70
RECOMENDACIONES 73
APORTES DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN 74
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS 75
ANEXOS 77

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Operacionalización de variables 6

Tabla 2: Clasificación de suelos de acuerdo a la amplificación sísmica 23

Tabla 3: Clasificación de suelos de acuerdo al periodo fundamental de vibración sísmica 24

Tabla 4: Coordenadas de los puntos de control topográficos 30

Tabla 5: Resumen de calicatas y trincheras realizadas 32

Tabla 6: Resumen del Ensayo de Densidad de Campo 33

Tabla 7: Resumen de los Ensayos de Refracción Sísmica 34

Tabla 8: Resumen de Resultados de Ensayos de Refracción Sísmica 36

Tabla 9: Resumen de Ensayos Estándar de Clasificación de Suelos 38

Tabla 10: Resumen de Resultados de Ensayos de Corte Directo y Triaxial CU 39

Tabla 11: Tramos Caracterizados 41

Tabla 12: Resumen de Tramos y Progresivas 48

Tabla 13: Resumen de los parámetros geotécnicos empleados en el análisis de estabilidad 50

Tabla 14: Factores de seguridad en el análisis de estabilidad de taludes 51

Tabla 15: Factores de seguridad recomendados para el caso de estudio 53

Tabla 16: Resultados del análisis de estabilidad del depósito de desmonte 54

Tabla 17: Condición de las secciones de análisis según el factor de seguridad recomendado 55

Tabla 18: Diseño propuesto para la estabilidad de taludes 56

Tabla 19: Resultados del análisis de estabilidad de taludes con el diseño propuesto . 66

Tabla 20: Volumen y tonelaje a mover por sección 67

Tabla 21: Dato general Volquetes 68

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

Tabla 22: Cálculo de Rendimientos..... 68

Tabla 23: Costos aproximados 69

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1: OBSERVACIÓN DE SUELOS EN CALICATAS 12

FIGURA 2: APARATO UTILIZADO PARA EL ENSAYO DE DENSIDAD DE CAMPO 13

FIGURA 3: FUNDAMENTO DE LA SÍSMICA DE REFRACCIÓN 14

FIGURA 4: VELOCIDAD DE TRANSMISIÓN DE ONDAS SÍSMICAS (P) EN DISTINTOS MATERIALES 15

FIGURA 5: DIRECCIÓN DE LOS ESFUERZOS PRINCIPALES EN FALLA DE UN TALUD 16

FIGURA 6: ENVOLVENTE DE FALLA Y CÍRCULO DE MOHR 17

FIGURA 7: ESQUEMA DEL MÉTODO DE EQUILIBRIO LÍMITE 19

FIGURA 8: DOVELA Y FUERZAS TÍPICAS PARA EL MÉTODO SIMPLIFICADO DE BISHOP 21

FIGURA 9: TANTEO CON DIFERENTES CÍRCULOS Y OBTENCIÓN DE F MÍNIMO 21

FIGURA 10: ZONIFICACIÓN SÍSMICA DEL PERÚ 23

FIGURA 11: MODIFICACIÓN DE GEOMETRÍA DEL TALUD 25

FIGURA 12: COMPARACIÓN DE TALUDES DE LA SECCIÓN 1 58

FIGURA 13: COMPARACIÓN DE TALUDES DE LA SECCIÓN 2 58

FIGURA 14: COMPARACIÓN DE TALUDES DE LA SECCIÓN 3 59

FIGURA 15: COMPARACIÓN DE TALUDES DE LA SECCIÓN 4 59

FIGURA 16: COMPARACIÓN DE TALUDES DE LA SECCIÓN 5 59

FIGURA 17: COMPARACIÓN DE TALUDES DE LA SECCIÓN 6 60

FIGURA 18: COMPARACIÓN DE TALUDES DE LA SECCIÓN 7 60

FIGURA 19: COMPARACIÓN DE TALUDES DE LA SECCIÓN 8 61

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

FIGURA 20: TALUD FINAL PROPUESTO – SECCIÓN 1 61

FIGURA 21: TALUD FINAL PROPUESTO – SECCIÓN 2 62

FIGURA 22: TALUD FINAL PROPUESTO – SECCIÓN 3 62

FIGURA 23: TALUD FINAL PROPUESTO – SECCIÓN 4 63

FIGURA 24: TALUD FINAL PROPUESTO – SECCIÓN 5 63

FIGURA 25: TALUD FINAL PROPUESTO – SECCIÓN 6 64

FIGURA 26: TALUD FINAL PROPUESTO – SECCIÓN 7 64

FIGURA 27: TALUD FINAL PROPUESTO – SECCIÓN 8 65

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. Problema De Investigación

1.1.1. Identificación del problema

La inestabilidad de los taludes del caso de estudio eleva el riesgo de deslizamientos, los cuales representan un peligro para el ecosistema y la población; y su análisis es una parte esencial al ser la base para el proceso de cierre y remediación del mismo.

1.1.2. Descripción del problema

El depósito de desmontes recibió el material estéril proveniente del tajo abierto Raúl Rojas en Cerro de Pasco desde el año 1956 hasta el 2000, acumulando así cerca de 50 millones de toneladas en un área de 79 hectáreas aproximadamente. La composición de estos desmontes mineros son en su mayoría pirita (la cual se obtiene en forma de material de desbroce o asociado a este) que los hace potenciales generadores de acidez.

El problema radica básicamente, como en todo botadero al no estar constituido por un macizo sólido sino de material estéril fragmentado, en la inestabilidad física generada, lo cual se agrava debido al mal dimensionamiento del botadero dado por la empresa encargada de su stock para posterior cierre y revegetación. El cierre del botadero sería realizado por Centromín Perú S.A., pero debido al incumplimiento se hizo el traspaso para el estudio y cierre del depósito a Activos Mineros S.A.C.

A su vez esta inestabilidad presente, podría dar origen a deslizamientos hacia el pie del talud, lo cual por su ubicación (próximo a un asentamiento humano) representa un gran peligro para la población.

Por otro lado, se encuentra el peligro constante para el ecosistema y la salud de las personas por parte de este depósito, ya que está constituido de material tóxico (rocas que dan lugar a drenajes ácidos), producto de los desechos de la mina combinados la precipitación pluvial de la zona.

Por lo cual se tiene que desarrollar el cierre de este pasivo ambiental y como parte de la problemática principal a tratar, se debe de iniciar con la estabilización de los taludes (los

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

cuales servirán como base para la revegetación y construcción de canales), los cuales representan el mayor problema actualmente, para esto se dispone de materiales como grava y arena los cuales poseen distintos ángulos de reposo natural comparados con los del botadero, para lo cual es prescindible reconfigurar los taludes del depósito previamente conformados por la minera.

Para un mejor análisis del caso de estudio, se optó por tomar secciones representativas según su geometría, sus parámetros geotécnicos, el material que las conforma y teniendo como guía una progresiva al pie del talud. Resultando en ocho secciones de análisis, de las cuales dos (Sección 03 y Sección 06) se consideran estructuras inestables debido a que el resultado obtenido por el software SLIDE no supera los factores mínimos de seguridad (1.5 para condiciones estáticas y 1.1 para condiciones pseudoestáticas), siendo el factor de seguridad de estas secciones de 1.44 y 1.24 respectivamente para condiciones estáticas, y 1.03 y 0.88 respectivamente para condiciones pseudoestáticas. El software mencionado garantiza un estudio detallado de la variedad de configuraciones de falla y el factor de seguridad presente gracias a los métodos de análisis incorporados como lo son el de Bishop y Janbu.

Para poder cumplir con el correcto cierre y rehabilitación del depósito de desmontes, se debe de ir analizando y corrigiendo este problema principal.

1.1.3. Justificación del problema

La falla de un talud (su deslizamiento) tendrá efectos directos, como lo son la pérdida de la vida humana, animal o vegetal, así como la destrucción de toda estructura presente; por otro lado también estarán presentes los efectos indirectos, los cuales son daños al medio ambiente, estos puede ser a corto o largo plazo, por ejemplo: si ocurre un deslizamiento próximo a un rio o lago, el material de desecho de la mina presente en el depósito, destruirá toda la vida acuática debido al incremento de los sedimentos en el área y a largo plazo estos evitaran cualquier afloramiento de vida en dicho lago, debido al ácido que se genera (drenaje ácido de roca) o por los metales pesados que se contienen en este desecho. Esto mismo se repite en caso de la vegetación, asi como también afectaría a la calidad del agua subterránea presente en el área donde ocurrio el deslizamiento.

Tambien como efecto indirecto se puede incluir el aspecto socioeconómico, no solo para la población sino también para la mina, en caso de que el depósito se encuentre próximo a esta, habría perdida de producción debido a la paralización por el deslizamiento, y el costo extra en la reparación del mismo. En caso de no cumplir con presentar un Plan de Cierre de

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Pasivos Ambientales Mineros, o con el incumplimiento del cronograma o actividades descritas en el mismo, el estado, según el Anexo del Decreto Supremo N° 059-2005-EM, el Reglamento de Pasivos Ambientales de la Actividad Minera, en su Articulo N° 48, requerirá del responsable de las medidas de remediación para constituir una garantía por el monto equivalente al 100% de las actividades que faltan desarrollar según lo dispuesto en el Plan de Cierre en un plazo de 30 días calendario; además se le otorgaran tres meses extra, para el cumplimiento de las actividades retrasadas; en caso de que el responsable no cumpla con el pago de la garantía en el plazo ya mencionado, la autoridad administrativa procederá a la imposición de una multa correctiva de hasta 600 UIT, siendo al 2019 una UIT equivalente a S/ 4 200, se tendría un total de S/ 2’520 000 como multa.

Dicho esto, este trabajo de investigación pretende determinar los factores y estudios necesarios para una correcta estabilización física, y a su vez enfocarse en uno de los puntos más importantes en un cierre y rehabilitación de un depósito de desmontes, ya que este será el punto de partida para las diferentes actividades de cierre, como lo son la creación de canales de desagüe, la revegetación y la estabilización en general.

El desarrollo del presente trabajo dejara evidencias que pueden ser aplicadas en futuros cierres de mina o depósitos similares; o para poder tener conocimiento de los estudios a realizar para una estabilidad física óptima, así mismo generará conocimiento para futuras investigaciones.

1.1.4. Formulación del problema

¿Cómo mejorar la estabilidad de taludes de un depósito de desmonte de una unidad minera para aumentar el factor de seguridad y reducir el riesgo de deslizamientos?

1.2. Objetivos

1.2.1. Objetivo general

Evaluar la estabilidad física del depósito de desmontes junto con la reconfiguración de sus taludes.

1.2.2. Objetivos específicos

- Realizar exploraciones de campo (toma de muestras) y ensayos de laboratorio del material de la zona de estudio.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

- Evaluar la información recolectada y datos geotécnicos para la realización del análisis de estabilidad de taludes (cálculo del factor de seguridad) mediante el software SLIDE.
- Proponer una nueva configuración de los taludes que cumpla con el factor de seguridad mínimo requerido.

1.3. Alcances Y Limitaciones

1.3.1. Alcances

El presente trabajo de investigación se desarrolló en un depósito de desmontes ubicado en Cerro de Pasco – Perú en el periodo 2018 - 2019, el cual fue alimentado por el material esteril (principalmente sulfuros en forma de pirita y pirrotina) proveniente del Tajo Raul Rojas, el mismo que fue explotado para la extracción de cobre hasta el año 1963, y posteriormente para la extracción de plomo y zinc.

El ya mencionado depósito de desmontes, presentaba inestabilidad física en sus taludes, resaltando zonas críticas, como las próximas al asentamiento humano colindante, para lo cual se realizó un estudio de sus parámetros geomecánicos, los cuales sirvieron para poder desarrollar un análisis de estabilidad para dar una posterior propuesta de corrección de los taludes del depósito y para el correcto cierre del mismo.

El presente trabajo de investigación en resumen, permitirá realizar y entregar, un análisis y propuesta para la reconfiguración y estabilización de los taludes del caso de estudio como parte del proceso de cierre y remediación.

1.3.2. Limitaciones

Como limitaciones para este trabajo de investigación podemos encontrar las siguientes:

- Falta de tiempo y financiamiento para el monitoreo post-cierre del proyecto.
- Falta de licencia del software SLIDE de Rocscience por parte de la casa de estudios.
- Limitación en la distribución y obtención de datos; para este último, se tomaron los datos de los resultados de los ensayos de laboratorio realizados por una empresa especializada.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

1.4. Hipótesis

"Modificando los parámetros de diseño se espera alcanzar la estabilidad física de los taludes pertenecientes al caso de estudio para su posterior cierre y remediación."

1.5. Análisis De Variables

1.5.1. Variable independiente

La variable independiente del presente trabajo de investigación es el factor de seguridad presente en los taludes del depósito de desmontes.

1.5.2. Variables dependientes

Como variables dependientes en el presente trabajo de investigación tenemos:

- Altura de Banco
- Altura de Talud
- Ancho de Banco
- Ángulo de Banco
- Ángulo de Talud
- Coeficiente de fricción
- Cohesión
- Nivel de agua
- Peso unitario

1.5.3. Operacionalización de variables

La operacionalización de las variables mencionadas en los puntos anteriores, se presenta a continuación en la Tabla 1:

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Tabla 1
Operacionalización de variables

Tipo de variable	Variable	Definición Conceptual	Definición Operacional	Indicadores
Independiente	Factor de seguridad	Definido como la relación que existe entre la carga o tensión máxima que el suelo puede soportar con la carga o tensión real que es aplicada en el talud.	Resulta de un proceso de análisis por diferentes métodos de equilibrio que comparan las fuerzas resistentes del material y la carga aplicada en este, puede usarse software especializado.	Es un valor adimensional, pero puede establecerse un límite que represente la estabilidad de un talud. Ej. Si el valor es superior a 1.5, se considera que un talud es estable físicamente.
Dependiente	Cohesión	Es el parámetro el cual representa las fuerzas internas por la cual las partículas del terreno se mantienen unidas.	Lo primero que se realiza es la toma de muestras del material a analizar, estas son llevadas a un laboratorio donde al pasar por determinados ensayos se obtienen las propiedades del material.	Es medida en Kg/cm^2 o kPa.
	Coeficiente de fricción	Propiedad de los materiales granulares que sirve para hallar la resistencia al deslizamiento de un terreno.		Es medido en grados (°).
	Peso unitario	Relación entre el peso de una sustancia y su volumen.		Es medido en gr/cm^3 o kN/m^3.
	Nivel de agua	Distancia a la que se encuentra el agua desde la superficie del terreno.	Se obtiene a partir de perforaciones realizadas en la zona de estudio, donde se instalan piezómetros y se mide la distancia del suelo al nivel donde se encuentra el agua.	Es medido en metros (m).
	Geometría del talud	Conjunto de características geométricas de un talud.	Comprende: altura de talud, altura de banco, ancho de banco, ángulo de talud y ángulo de banco.	La altura y ancho son medidos en metros (m); el ángulo es medido en grados (°).

Fuente: Elaboración Propia.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

1.6. Tipo De Investigación

- **Correlacional:** la presente investigación es de este tipo por la relación directa existente entre las variables ya mencionadas en el punto anterior y el factor de seguridad de los taludes.
- **Descriptiva:** la presente investigación es de este tipo debido a que se detallan las características físicas del material de los taludes del depósito de desmontes y se describen como estas afectan a los mismos.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes Investigativos

Se tiene conocimiento de proyectos similares a nivel Perú en cuanto a la estabilización física de los taludes de depósitos de desechos sólidos mineros como los mencionados a continuación:

- ZAPANA, E. (2017). *Análisis de estabilidad del botadero Mariana Unidad Operativa Arcata.* Arequipa, Perú. El objetivo principal de la tesis mencionada era el de determinar las condiciones de estabilidad física del botadero de desmontes Mariana de la mina Arcata, los cuales fueron generados por las actividades de la operación. Esta mina es subterránea y se localiza en el distrito de Cayarani, en el departamento de Arequipa; se dedica a la extracción de plata por medio del método de corte y relleno ascendente mecanizado.

  Esta tesis influyó de manera positiva en mi investigación debido a que me ayudó a establecer una idea para las secciones de análisis de la estabilidad de taludes, tomando en cuenta la geometría de los mismos, así como las condiciones del terreno y la topografía. A su vez aportó bibliografía la cual pude revisar para ampliar los conocimientos sobre el tema, como por ejemplo el uso del software SLIDE para el análisis de estabilidad de los taludes del depósito de desmontes.
- AGUIRRE, R. (2017). *Análisis de la estabilidad física del depósito de relaves n° 5 de la concesión de beneficio Belén de minera Titán del Perú S.R.L.* Arequipa, Perú. Como objetivo principal de la tesis mencionada se tenía el determinar la influencia que tenían sobre la estabilidad física de la presa de relaves, los cambios realizados en cuanto al sistema de disposición de relaves y los parámetros de construcción. Estos cambios se debían a que el sistema de funcionamiento actual en cuanto a la disposición de los relaves, retrasaba las operaciones y obligaba a la paralización de la planta de beneficio, por ello se optó por la disposición directa de los relaves en pulpa en el referido depósito.

  La tesis mencionada sirvió como referencia en cuanto a la determinación y análisis de los parámetros geotécnicos en un depósito de desmontes, para un posterior

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

rediseño de los taludes del mismo. A su vez proporcionó bibliografía la cual al revisarla brindo información sobre los factores de seguridad necesarios para una estabilidad física óptima y así disminuir la probabilidad de deslizamientos. También influyó en la revisión de la geología de la zona, en el establecimiento de secciones críticas de análisis y en el uso de un software especializado en geotecnia (estabilidad de taludes).

- CHAMBE, A. (2019). *Análisis comparativo de los métodos de cálculo en estabilidad de taludes para el caso del botadero de desmontes de la mina María Teresa.* Tacna, Perú. El objetivo principal del trabajo de investigación mencionado era determinar el factor de seguridad del talud del depósito de desmontes, a través de un análisis comparativo de los resultados obtenidos con los métodos de equilibrio límite y el método esfuerzo deformación. Para ello se definieron los parámetros geotécnicos del desmonte utilizando el enfoque empírico conceptual de los suelos tipo Bimrock y con ellos se calculó el factor de seguridad presente con ayuda del software SLIDE 6.0. A su vez esta investigación buscaba mejorar el entendimiento del comportamiento mecánico de los suelos compuestos por una matriz fina y bloques de roca, también llamados suelos tipo BIMROCK, a través de la homogenización de los parámetros de resistencia de este tipo de material.

  El trabajo de investigación anterior, generó un impacto positivo en mi investigación gracias a los pasos seguidos, ya que estos formaron una idea más clara de cómo trabajar con este tipo de material (suelo) presente en los botaderos de las unidades mineras. Siendo un punto crítico el análisis con los diferentes métodos aplicados, demostrando la gran utilidad del software especializado en análisis de estabilidad de taludes, habiendo así una gran variedad de métodos de análisis según lo requiera uno. La revisión de la bibliografía en la tesis mencionada contribuyó en la adquisición de nuevos conocimientos, como lo es la metodología utilizada.

2.2. Generalidades

2.2.1. Ubicación y acceso

El depósito de desmontes se encuentra ubicado en las estribaciones occidentales de la Cordillera Central en la Sierra Central del Perú, en el departamento de Pasco, provincia de Cerro de Pasco y distrito de Simón Bolívar a una altitud de 4340 m.s.n.m.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Este depósito se ubica a 1.2 km al sur oeste de la Ciudad de Cerro de Pasco, inmediatamente aguas abajo de las operaciones Volcán Cia. Minera S.A.A. (hoy empresa Administradora Cerro S.A.C.), contiguo a la Comunidad Urbana de Champamarca al Sureste del depósito.

El acceso desde la ciudad de Lima es por medio de la carretera central o el Ferrocarril Central: Lima - La Oroya - Cerro de Pasco. La distancia desde La Oroya es 130 km y desde la ciudad de Lima es 310 km. Desde la ciudad de Lima el tiempo aproximado de viaje es de 10 horas vía terrestre.

2.2.2. Marco legal

La norma legal principal que regula el cierre de minas es la Ley 28090 "Ley que Regula el Cierre de Minas". Además de esta, podemos encontrar más normas legales como: la Ley 28611 "Ley General del Ambiente", la Ley 28271 "Ley que Regula los Pasivos Ambientales de la Actividad Minera" y su reglamento "Reglamento de Pasivos Ambientales de la Actividad Minera", aprobado y modificado por DS 059-2005-EM. También se cuenta con una guía para la estabilidad de taludes en depósitos de desmonte "Guía Ambiental para la Estabilidad de Taludes de Depósitos de Desechos Sólidos Mineros "elaborada por el MEM. Se recomienda al lector del presente trabajo de investigación hacer una revisión del marco legal antes de realizar cualquiera de las actividades descritas posteriormente, pudiendo revisar la página web del MEM, http://www.minem.gob.pe, para obtener las versiones más actuales de las normas mencionadas u otras que considere relevantes o se promulguen en un futuro, ya que estas están en constantes cambios para garantizar su mejora continua.

2.2.3. Geología

La región a la que pertenece el caso de estudio presenta una serie de fallas de gran longitud y fallas de menor magnitud.

También se encuentran una serie de plegamientos en forma de sinclinales y anticlinales que tienen extensión regional. Estas estructuras se han formado a lo largo de diferentes etapas geológicas.

Destacan las fallas de Cerro de Pasco, Sacra Familia como las principales fallas de varios kilómetros de longitud. Plegamientos como los anticlinales de Alcacocha, Campanayoc, Carhuamayo y otros. Todas ellas, junto con los plegamientos guardan una dirección general de orientación andina. No se han observado la existencia de fallas activas o por lo menos no se les ha detectado a la fecha. (Rodríguez M., Cueva T., & Carlotto C., 2011)

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

En esta zona se han desarrollado típicas formas que corresponden a terrenos altos (Puna).

La acción predominante ha sido la actividad glaciar que ha tratado de aplanar los relieves formando los típicos valles glaciares de suaves formas a lo largo de los cuales se han depositado los productos de la erosión glaciar, llamados morrenas. En el transcurso de los glaciares en su fase de retroceso han dejado una serie de depresiones que forman lagunas que inicialmente se deben a las acumulaciones de hielo que se derritieron los que se mantienen por recarga pluviales y filtraciones de los terrenos circundantes.

Dentro del área del caso de estudio se encuentran las siguientes seis unidades litoestratigráficas (Rodríguez M., Cueva T., & Carlotto C., 2011):

- **Depósitos detríticos fluvio- aluviales:** formados por gravas, arena, arcilla y limo, generalmente mezcladas heterogéneamente, inconsolidados cubriendo ligeramente a las formaciones rocosas.
- **Rocas de la Formación Casapalca:** representada por el conglomerado de Chuco el que contiene fragmentos calcáreos en mayor proporción, areniscas, rojizas, cuarcitas y filitas, todos cementados en una matriz calcárea. Esta formación abarca gran parte del área.
- **Grupo Goyllarisquizga:** formada por areniscas y calizas en menor proporción.
- **Grupo Pucará:** tiene esencialmente calizas, a veces masiva, presente superficies kársticas. Ocupa también importante extensión de la parte oriental del área.
- **Grupo Mitu:** ocupa una franja pequeña en la parte Sur- Oeste del área y contiene areniscas rojizas.
- **Grupo Excélsior:** las rocas del mayor antigüedad de área compuesta de pizarras y filitas intercaladas con capas cuarcíticas. Ocupa una buena parte de la extensión del área.

2.3. Conceptos Básicos En La Exploración De Campo

2.3.1. Excavación de calicatas y trincheras

Las calicatas, trincheras, zanjas, pozos, etc., son excavaciones que se realizan por medios mecánicos tradicionales, estas nos permiten la observación directa del terreno de estudio a determinada profundidad (Ver Fig. 1), a su vez se pueden tomar muestras y realizar ensayos in situ para determinar características más específicas del material que compone el terreno.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

La ventaja de estas es que nos permiten acceder directamente al terreno, con lo cual podremos observar las diferentes variaciones litológicas, estructura, etc. Las muestras de gran tamaño tomadas servirán para la realización de ensayos de laboratorio (Gonzáles de Vallejo, 2002).

Estos métodos ya mencionados son los métodos más empleados en el reconocimiento superficial del terreno, y por su bajo costo y rapidez de realización, son un elemento común en cualquier tipo de investigación in situ. A su vez también cuentan con algunas limitaciones (Gonzáles de Vallejo, 2002):

- La profundidad no suele exceder los 4 m.
- La presencia de agua limita su utilidad.
- El terreno debe poderse excavar con medios mecánicos.
- Al ser realizadas se deben cumplir las normas de seguridad frente a derrumbes de las paredes de las excavaciones o la presencia de cables, etc.



Figura 1: Observación de suelos en calicatas. Tomada de Ingeniería Geológica – González de Vallejo. Recuperada de http://www.u-cursos.cl/usuario/c19094b1ea89f1f08e243796b671e2e5/mi_blog/r/Ingenieria_Geologica_-_Gonzalez_de_Vallejo.pdf

2.3.2. Ensayo de densidad de campo (Método de balón de caucho)

El ensayo es utilizado para determinar la densidad y el peso unitario de la zona de estudios, la cual puede ser depósito de suelo natural, mezclas de suelos, y otros materiales que posean firmeza y un nivel de compactación adecuado.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Este método es apropiado para zonas o materiales que no posean fragmentos de roca, ya que estos pueden pinchar la membrana del balón de caucho inutilizándola (Suarez Ramirez, 2016).

El método es realizado determinando el volumen de un agujero excavado en el suelo, usando un recipiente calibrado que contiene un líquido el cual llenará una membrana de caucho flexible (en la Fig. 2 se puede apreciar el instrumento usado) esta última se va desplazando dentro del agujero hasta que se llena totalmente con el líquido. La densidad húmeda in-situ resulta de la división entre la masa húmeda del suelo que es removida y el volumen del agujero excavado (I.N.V., 2007).

El contenido de agua en el suelo (humedad in-situ) y la densidad húmeda se usan para calcular la densidad seca in-situ y el peso unitario seco.

Para mayor detalle e información sobre el procedimiento podemos encontrar normas tales como la NTP 339.256 y la ASTM D2167.

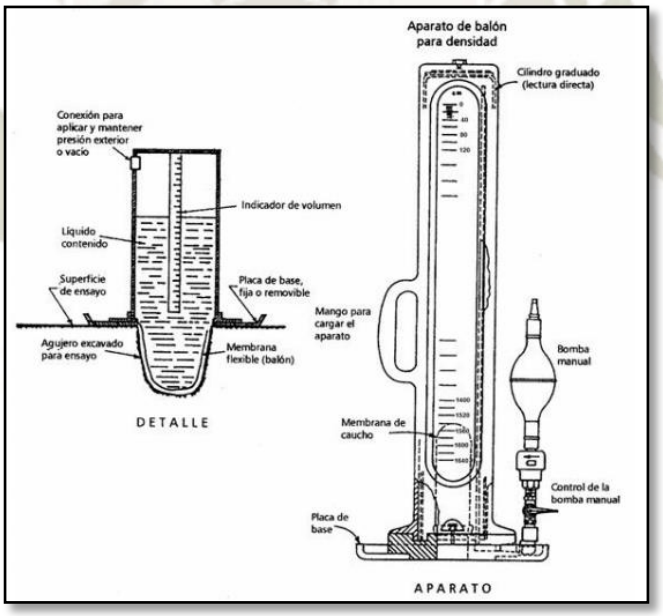


Figura 2: Aparato utilizado para el ensayo de densidad de campo. Tomada de Norma I.N.V. E-162-07. Recuperada de ftp://ftp.unicauca.edu.co/Facultades/FIC/IngCivil/Especificaciones_Normas_INV-07/Normas/Norma%20INV%20E-162-07.pdf

2.3.3. Prospección geofísica mediante Refracción Sísmica

Los métodos sísmicos tienen como propósito estudiar las ondas sísmicas producidas de manera artificial, para así establecer su relación con la configuración geológica del subsuelo. Los contactos entre los cuerpos geológicos que poseen diferente velocidad de transmisión

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

de las ondas sísmicas, definirán superficies de separación en las cuales las ondas sufren refracción, reflexión o difracción (Ley de Snell). (Gonzáles de Vallejo, 2002).

El método más usado es el de refracción sísmica, este estudia la energía que vuelve a la superficie tras sufrir una refracción total en las superficies límites del subsuelo (Ver Fig. 3), este método es especialmente útil cuando se tratan de zonas donde se encontraran estratos más densos (Sivakugan, Kumar Shukla, & M. Das, 2013). Se realiza mediante perfiles longitudinales instrumentados con sensores llamados geófonos, los cuales pueden estar espaciados como máximo a 5 metros y la cantidad de ellos dependerá de la longitud de los perfiles a evaluar. Como liberadores de energía para la perturbación que registrara el geófono se pueden usar medios mecánicos tales como martillos de 8 kg o inclusive, si la zona de estudio lo permite, explosivos (Gonzáles de Vallejo, 2002).

Mediante las acciones ya mencionadas, se registrara una domocrona, la cual es una función lineal que relaciona el tiempo de llegada de la primera onda con la distancia que recorrió. Estas permitirán calcular la velocidad de transmisión y la profundidad a la que se encuentra la superficie de refracción. La velocidad a su vez nos dará una idea aproximada del tipo de material que se presenta en el subsuelo, por ejemplo, a mayor alteración presente la velocidad disminuirá (Ver Fig. 4). (Gonzáles de Vallejo, 2002)

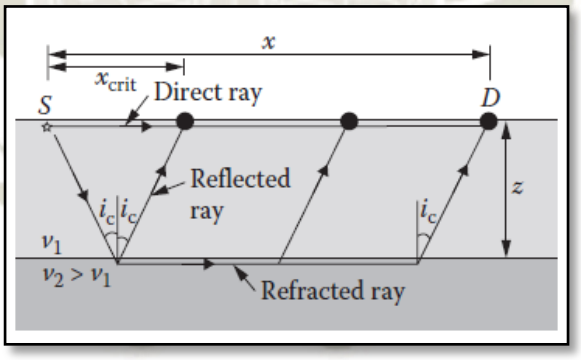


Figura 3: Fundamento de la sísmica de refracción. Tomada de Rock Mechanics an Introduction- Sivakugan, Kumar, M. Das. Recuperada de archivo digital.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA



Figura 4: Velocidad de transmisión de ondas sísmicas (P) en distintos materiales. Tomada de Ingeniería Geológica – González de Vallejo. Recuperada de http://www.u-cursos.cl/usuario/c19094b1ea89f1f08e243796b671e2e5/mi_blog/r/Ingenieria_Geologica_-_Gonzalez_de_Vallejo.pdf

2.4.Conceptos Básicos En El Análisis De Estabilidad De Taludes

2.4.1. Criterio de Rotura de Mohr-Coulomb

En el estudio de suelos y macizos rocosos para la caracterización geotécnica de los mismos, una de las propiedades más importantes en lo que respecta a estabilidad de taludes, es su resistencia. En mecánica de suelos, el criterio más utilizado es el de Mohr-Coulomb, el cual permite definir la tensión de corte que se alcanza en un plano en función de la tensión efectiva sobre el mismo y los parámetros de resistencia del suelo (Sivakugan, Kumar Shukla, & M. Das, 2013).

Este criterio funciona bastante bien especialmente en suelos, donde la falla generalmente es cortante. La resistencia al corte en el plano de falla (τ) es proporcional a la tensión normal (σ_n) en el plano y se expresa como:

$$\tau = c + \sigma_n \tan(\Phi) \qquad (1)$$

Donde:

- τ y σ_n son las tensiones tangencial y normal sobre el plano de rotura.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

- c y Φ son la cohesión y el ángulo de rozamiento.

Mientras el componente friccional es proporcional al esfuerzo normal, el componente cohesivo es una constante, que es independiente del esfuerzo ya mencionado.

Este criterio implica que se da lugar a una fractura por corte al alcanzarse la resistencia pico del material (Sivakugan, Kumar Shukla, & M. Das, 2013).

2.4.2. El Círculo de Mohr

El método más común para representar los resultados de los ensayos de corte en suelos, es el diagrama de Mohr. Este diagrama consiste en una envolvente lineal que toca todos los círculos de Mohr (Ver Fig. 6), que representan las combinaciones críticas de los esfuerzos principales presentes en la superficie de falla de un talud (Ver Fig. 5). El circulo de Mohr representa un ensayo triaxial, mientras que la envolvente representa el estado de los esfuerzos al momento de la falla cortante (Suárez Díaz, 2006).

En este círculo se definen los esfuerzos principales máximo y mínimo (σ_1 y σ_3); para la correcta interpretación de la falla cortante en un talud, se debe tener en cuenta cual es la dirección de estos esfuerzos en cada sitio de la superficie de falla. El esfuerzo máximo es vertical en la parte superior de la falla y horizontal en la parte inferior (Suárez Díaz, 2006).

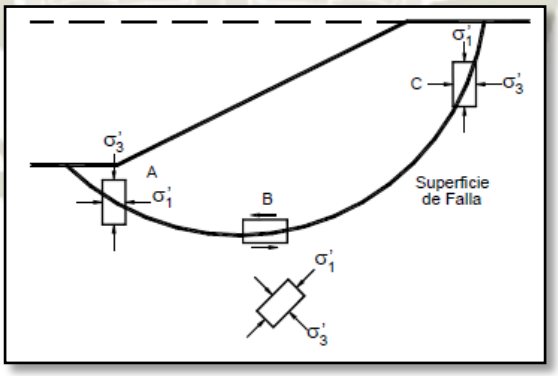


Figura 5: Dirección de los esfuerzos principales en falla de un talud. Tomada de Deslizamientos: Análisis Geotécnico - Jaime Suarez. Recuperada de https://www.erosion.com.co/deslizamientos-tomo-i-analisis-geotecnico.html

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

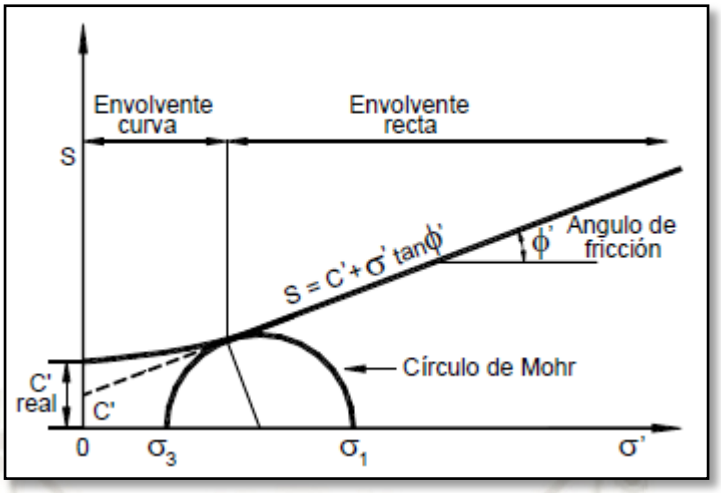


Figura 6: Envolvente de falla y Círculo de Mohr. Tomada de Deslizamientos: Análisis Geotécnico - Jaime Suarez. Recuperada de https://www.erosion.com.co/deslizamientos-tomo-i-analisis-geotecnico.html

Los puntos de la envolvente de falla corresponden a los esfuerzos que produce una falla cortante; los esfuerzos por encima de la envolvente no pueden existir.

Como parámetros fundamentales en el criterio de rotura de Mohr-Coulomb se tienen al ángulo de fricción y la cohesión.

El ángulo de fricción es la representación matemática del coeficiente de rozamiento:

$$Coeficiente\ de\ rozamiento = Tan\ \Phi \qquad (2)$$

En el caso de suelos granulares este coincidirá con el ángulo de reposo; todo tipo de suelo posee fricción, sin embargo los suelos con una fricción muy baja (como los arcillosos) son llamados suelos cohesivos.

El ángulo de fricción depende de muchos factores de los cuales los más resaltantes son: el tipo de mineral, el tamaño de grano, la distribución de estos granos, la densidad, la permeabilidad, la presión de confinamiento y la presión de pre consolidación (Suárez Díaz, 2006).

En cuanto a la cohesión podemos decir que es una medida de la adherencia entre las partículas que conforman el suelo. En la mecánica de suelos se utiliza el término cohesión para representar la resistencia a la cortante producida por la adherencia ya mencionada.

En los suelos granulares en los cuales no exista algún material que pueda producir adherencia, la cohesión será igual a cero, a este tipo de suelos se les llama suelos friccionantes (Suárez Díaz, 2006).

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

2.4.3. Métodos de Equilibrio Límite

Para poder comprender estos métodos es necesario tener una definición de coeficiente de seguridad previamente; este es comúnmente definido como la relación que existe entre la carga o tensión máxima que el suelo puede soportar con la carga o tensión real que es aplicada en el talud. Las características de estos esfuerzos y deformaciones en la mayoría de suelos se suele presentar como deformaciones plásticas relativamente grandes en cuanto los esfuerzos cortantes se aproximan a la resistencia al corte del material. Para el diseño de un depósito o de un talud, el factor de seguridad debe de ser mayor a uno (U.S. Army Corps of Engineers, 2003).

Los métodos de equilibrio límite son los más utilizados, estos analizan el equilibrio de una masa inestable, y se basan en la comparación de las fuerzas que tienden al movimiento con las fuerzas que se oponen al ya mencionado, a lo largo de una superficie de rotura (Gonzáles de Vallejo, 2002).

Todos estos métodos se basan en el criterio de rotura de Mohr-Coulomb para determinar el esfuerzo cortante a lo largo de la superficie de falla. El esfuerzo cortante para el cual el suelo falla, se define como la resistencia al corte del suelo. Según Janbu (1973), existe un estado de equilibrio cuando el esfuerzo cortante movilizado se expresa como una fracción de la resistencia al corte.

Los problemas de estabilidad son estáticamente indeterminados, por lo cual, para su solución es preciso considerar una serie de hipótesis de partida. Generalmente se asumen las siguientes condiciones (Gonzáles de Vallejo, 2002):

- La superficie de rotura debe ser cinema ticamente posible.
- La distribución de fuerzas que actúan sobre la superficie de falla, podrá ser computada utilizando datos conocidos como: peso específico del material, presión de agua, etc.).
- La resistencia se desplaza de forma simultánea a lo largo de todo el plano de falla.

Gracias a estas condiciones, se pueden establecer ecuaciones de equilibrio entre las fuerzas que favorecen al deslizamiento y las resistentes. Como tal, de los análisis resultara el valor del coeficiente de seguridad para el talud analizado en referencia al equilibrio límite entre las fuerzas actuantes. Es decir, el coeficiente F por el que se deben dividir las fuerzas tangenciales resistentes para alcanzar el equilibrio (Ver Fig. 7):

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

$$F = \frac{Fuerzas\ estabilizadoras}{Fuerzas\ desestabilizadoras}\ o\ F = \frac{Tensiones\ tangenciales\ resistentes}{Tensiones\ tangenciales\ deslizantes} \quad (3)$$

Una vez se haya calculado el coeficiente de seguridad de la superficie supuesta, será necesario analizar otras superficies de rotura, para así encontrar la que posea el menor factor de seguridad, la cual se admite como la superficie potencial de falla del talud.

Las fuerzas que actúan sobre un plano de falla o de deslizamiento potencial, son las que se deben al peso del material (W), a la cohesión (c), y a la fricción (Φ). (Prasad Aryal, 2006).

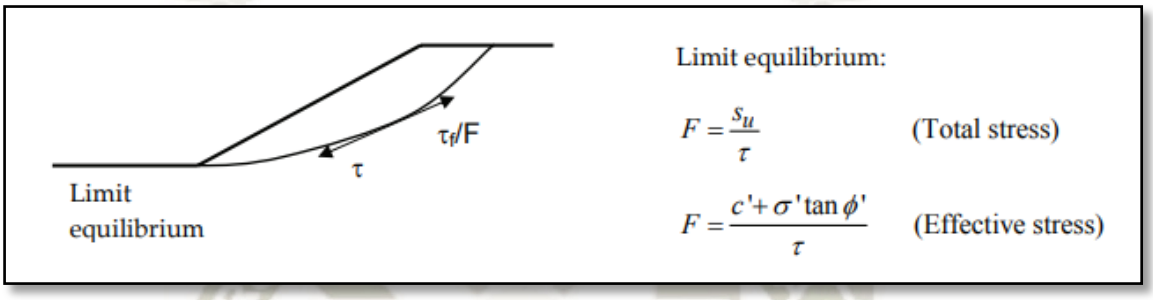


Figura 7: Esquema del método de Equilibrio Límite. Recuperado de Slope Stability evaluations by Limit Equilibrium and Finite Element methods – Krishna Prasad Aryal – Doctoral Thesis. Recuperado de https://core.ac.uk/download/pdf/30817581.pdf

Los métodos de equilibrio límite se pueden clasificar según sus consideraciones para el análisis, teniendo así los que consideran el análisis del bloque o masa total; y los que consideran la masa dividida en rebanadas verticales.

Estos últimos son válidos para materiales no homogéneos, y conllevan una serie de hipótesis sobre la localización, posición y distribución de las fuerzas que actúan sobre las rebanadas de material. El cálculo de las fuerzas presentes se hace para cada una de estas rebanadas en las que se dividió el talud, integrándose finalmente el resultado obtenido (Prasad Aryal, 2006).

Los métodos de rebanadas más comunes son el de Bishop y el de Jambu, los cuales son válidos para el análisis de superficies de falla curvas.

2.4.4. Método Simplificado de Bishop

Es un método de análisis clásico para taludes que tienen como material predominante el suelo, y muy común en la práctica para superficies de falla curvas. El desarrollo consiste en dividir la masa deslizante en *n* rebanadas o fajas verticales (dovelas), se establece el equilibrio de momentos de las fuerzas que actúan en cada una de las dovelas respecto al centro del círculo (Ver Fig. 8), de la condición de equilibrio de las fuerzas verticales

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

presentes en cada dovela se obtendrán las fuerzas *N* (normales a la superficie de falla) y se sustituyen en la ecuación resultante de equilibrio de momentos; las fuerzas de contacto entre las dovelas no influyen, ya que están en equilibrio (U.S. Army Corps of Engineers, 2003).

Este método se basa en el supuesto de que las fuerzas internas son horizontales; las fuerzas son sumadas en dirección vertical. La ecuación de equilibrio resultante se combina con la ecuación de Mohr-Coulomb y la definición de factor de seguridad para determinar las fuerzas sobre la base del corte (Escobar Potes & Duque Escobar, 2017). Finalmente se suman los momentos sobre el centro de la superficie de deslizamiento circular para obtener la siguiente expresión del factor de seguridad:

$$F = \frac{\sum[\frac{c'\Delta x+(W+Pcos\beta-u\Delta xsec\alpha)tan\Phi'}{m_\alpha}]}{\sum Wsin\alpha-\frac{\sum M_P}{R}} \quad (4)$$

Donde:

- Δx = ancho del corte (dovela)
- c' y Φ' = parámetros de corte para el centro del corte (dovela)
- W = peso de la dovela
- α = inclinación del fondo de la dovela
- β = inclinación de la parte superior de la dovela
- R = radio del circulo
- M_P = momento sobre el centro del circulo producido por la fuerza del agua que actúa sobre la parte superior de la dovela
- P = fuerza resultante del agua que actúa perpendicular a la parte superior de la rodaja
- u = presión de agua en los poros en el centro de la base de la dovela
- m_α , está definido por la siguiente formula:

$$m_\alpha = cos\alpha + \frac{sin\alpha\ tan\Phi'}{F} \quad (5)$$

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

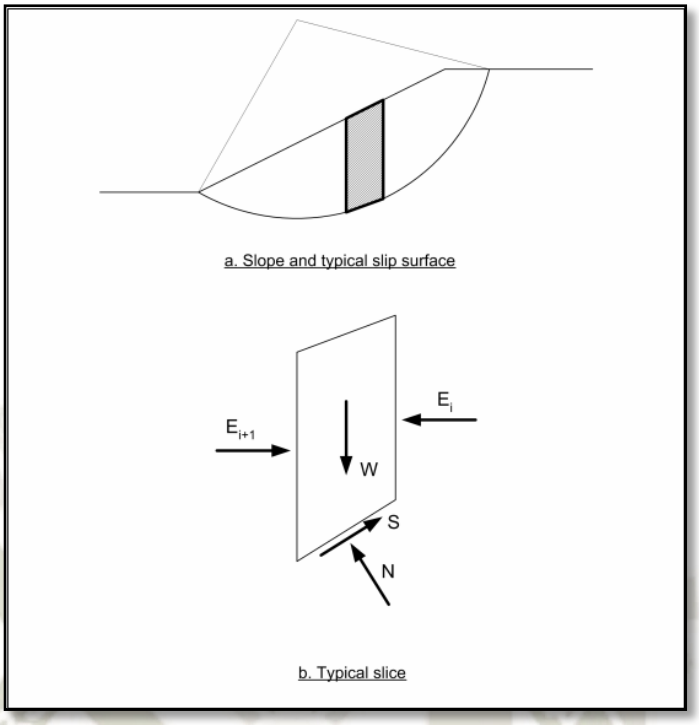


Figura 8: Dovela y fuerzas típicas para el Método Simplificado de Bishop. Tomada de Slope Stability – US Army Corps of Engineers. Recuperada de https://www.publications.usace.army.mil/Portals/76/Publications/EngineerManuals/EM_1110-2-1902.pdf

Una vez obtenido el coeficiente de seguridad *F* de la superficie considerada, se supone otra superficie circular y se determina un nuevo valor de *F*, y así sucesivamente hasta obtener el mínimo (Ver Fig. 9). Normalmente las fórmulas se programan y se analizan círculos con diferentes centros y radios, hasta encontrar el que proporcione el valor *F* mínimo (Gonzáles de Vallejo, 2002).

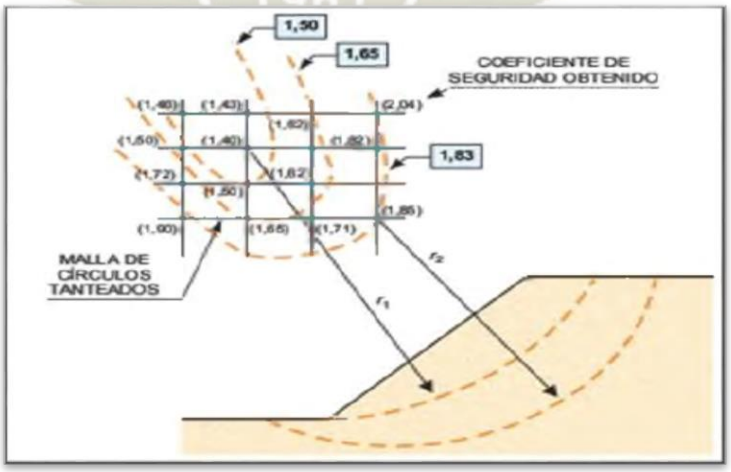


Figura 9: Tanteo con diferentes círculos y obtención de F mínimo. Tomada de Ingeniería Geológica – González de Vallejo. Recuperada de http://www.u-cursos.cl/usuario/c19094b1ea89f1f08e243796b671e2e5/mi_blog/r/Ingenieria_Geologica_-_Gonzalez_de_Vallejo.pdf

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Los software disponibles presentan una ventaja, estos pueden realizar un número muy elevado de cálculos en poco tiempo, analizando las numerosas superficies de falla posibles; estos pueden usar diferentes métodos de equilibrio limite incluyendo el Método Simplificado de Bishop para superficies de falla circular, pudiendo incluir en lo análisis las fuerzas externas y las debidas al agua. También tienen como ventaja el proporcionar salidas gráficas con los resultados y la posición de las superficies analizadas (Suárez Díaz, 2006).

2.4.5. Análisis Pseudoestático: Coeficiente Sísmico

En este método de análisis se emplea el cálculo del factor de seguridad para la estabilidad de taludes por medio de métodos de equilibrio limite (específicamente el método simplificado de Bishop), adicionando un coeficiente lateral sísmico (F.H.W.A., 2011). Uno de los principales problemas de este método es lograr determinar el coeficiente sísmico en la zona de estudio. Para poder realizar este análisis se puede contar con la ayuda de software especializado, el cual logrará identificar el valor del factor de seguridad según la información que sea ingresada.

Terzaghi en 1959, fue el primero en utilizar un método pseudoestático para realizar un estudio de estabilidad de taludes durante un evento sísmico. En estos modelos, se representan los efectos de un sismo mediante aceleraciones pseudoestáticas, las cuales producen fuerzas de inercia, que se sitúan en el centro de gravedad de cada dovela. El Perú, según la Norma E030 – Diseño Sismorresistente, se divide en cuatro zonas sísmicas (Ver Fig. 10) (Valiente Sanz, Sobrecases Martí, & Díaz Orrego, 2015):

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA



Figura 10: Zonificación sísmica del Perú. Tomada de Norma E030 – Diseño Sismorresistente. Recuperada de http://www3.vivienda.gob.pe/dgprvu/docs/RNE/T%C3%ADtulo%20III%20Edificaciones/51%20E.030%20DISENO%20SISMORRESISTENTE.pdf

A cada una de estas zonas se le asigna un factor Z, el cual representa la aceleración máxima horizontal del suelo rígido con una probabilidad del 10% de ser excedida en 50 años (Z se expresa como una fracción de la gravedad):

- Zona 1: Z = 0.10
- Zona 2: Z = 0.25
- Zona 3: Z = 0.35
- Zona 4: Z = 0.45

Según la norma ya mencionada los suelos pueden clasificarse según sus propiedades mecánicas (espesor de estratos, velocidad de propagación de ondas, etc). Esto los divide fundamentalmente en cuatro tipos de suelos:

Tabla 2
Clasificación de suelos de acuerdo a la amplificación sísmica.

	S_0: Roca Dura	S_1: Roca o suelos muy rígidos	S_2: Suelos Intermedios	S_3: Suelos Blandos
Zona 4	0.80	1.00	1.05	1.10
Zona 3	0.80	1.00	1.15	1.20
Zona 2	0.80	1.00	1.20	1.40
Zona 1	0.80	1.00	1.60	2.00

Fuente: Estabilidad de Taludes – R. Valiente, S. Sobrecases, A. Díaz (Norma E030)

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Tabla 3
Clasificación de suelos de acuerdo al periodo fundamental de vibración sísmica.

	S_0: Roca Dura	S_1: Roca o suelos muy rígidos	S_2: Suelos Intermedios	S_3: Suelos Blandos
Tp (s)	0.30	0.40	0.60	1.00

Fuente: Estabilidad de Taludes – R. Valiente, S. Sobrecases, A. Díaz (Norma E030)

La aceleración máxima horizontal de diseño ($A_{máx}$) tendrá la siguiente fórmula:

$$A_{máx} = Z\ x\ S \tag{6}$$

En el caso de aplicar métodos de análisis pseudoestáticos para el diseño de taludes, la AASTHO y la FHWA sugieren reducir el valor anterior a la mitad.

Para mayor detalle e información sobre el procedimiento podemos encontrar normas tales como la E-030 para Diseño Sismorresistente.

2.4.6. Métodos de estabilización: Modificación de la geometría del talud

La modificación de la geometría del talud ayuda a redistribuir las fuerzas que son originadas por el peso de los materiales, obteniendo de este modo una nueva configuración más estable. Las acciones a realizar más frecuentes son (Ver Fig. 11) (Gonzáles de Vallejo, 2002):

- Disminuir la inclinación del talud.
- Eliminar el peso en la cresta del talud (descabezamiento).
- Incrementar el peso en el pie del talud (tacones).
- Construir bancos y bermas (escalonar el talud).

Al realizar excavaciones en la cresta del talud, se quita peso de esta zona, por lo que las fuerzas desestabilizadoras se reducen.

El escalonamiento del talud, con la construcción de bancos y bermas contribuirá a evitar que se produzcan roturas superficiales que afecten a todo el frente del talud, debido a que se cortan los posibles planos de rotura (Suárez Díaz, 2006). Esta medida se suele decidir antes de la excavación de los taludes; además las bermas sirven para detener los posibles desprendimientos de rocas y roturas locales del talud, para la instalación de obras de drenaje y accesos para estudios posteriores, así como para las obras de saneamiento, y para el control y monitorio del talud final.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA



Figura 11: Modificación de geometría del talud. Tomada de Ingeniería Geológica – González de Vallejo. Recuperada de http://www.u-cursos.cl/usuario/c19094b1ea89f1f08e243796b671e2e5/mi_blog/r/Ingenieria_Geologica_-_Gonzalez_de_Vallejo.pdf

2.5. Glosario De Términos

- AASTHO: American Association of State Highway and Transportation Officials.
- Ángulo de fricción: propiedad de los materiales granulares que sirve para hallar la resistencia al deslizamiento de un terreno.
- Banco: escalón o unidad de explotación sobre la que se desarrolla el trabajo de extracción en las minas a cielo abierto.
- Berma: cara superior de un escalón (banco) de una explotación a cielo abierto construido para ser utilizado como vía de acceso, como barrera para detener rocas o material suelto desprendido o para mejorar la estabilidad del talud.
- Botadero: depósito de material estéril extraído de una mina.
- Cohesión: es el parámetro el cual representa las fuerzas internas por la cual las partículas del terreno se mantienen unidas.
- Cresta de talud: parte superior de un talud.
- DAR: drenaje ácido de roca, es un agua de pH bajo, enriquecida en sulfatos y con grandes concentraciones de acidez. La acidez de los DAR es producida por oxidación e hidrólisis de minerales de sulfuros y está representada por acidez mineral (hierro, aluminio, manganeso y otros metales, que depende de la geología del depósito) y acidez del ion hidrógeno.
- Depósito epitermal: son aquellos en los que la mineralización ocurrió dentro de 1 a 2 Km de profundidad desde la superficie terrestre y se depositó a partir de fluidos hidrotermales calientes.
- Desechos sólidos mineros: los constituyen los relaves y los estériles (material de desbroce o desmonte).

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

- Ensayo triaxial: es un método de medición de las propiedades mecánicas de muchos sólidos deformables, especialmente suelos.
- Estabilidad de talud: es la resistencia de cualquier superficie inclinada, como las paredes de una mina a cielo abierto o los cortes de taludes, a fallar.
- Falla: una fractura o una zona de fractura sobre la cual se produce un movimiento diferencial entre dos bloques rocosos adyacentes. El desplazamiento puede ser de milímetros a cientos de kilómetros. Hay varios tipos de falla, clasificados según la forma como se desplaza un bloque con respecto al otro.
- Falla activa: es una falla que presenta evidencias de desplazamiento o movimiento en el pasado geológico reciente, lo que significa que presenta actividad. La actividad de estas fallas causa sismos de muy variada magnitud.
- FHWA: federal highway administration (Administración Federal de Carreteras).
- Material estéril: material sin valor económico que cubre o es adyacente a un depósito de mineral y que debe ser removido antes de extraer el mineral.
- Metal pesado: metales tóxicos son aquellos cuya concentración en el ambiente puede causar daños en la salud de las personas.
- Mina: excavación que se hace para extraer un mineral.
- Morrenas: montón de piedras y barro acumuladas por un glaciar.
- NTP: norma técnica peruana.
- Ondas sísmicas: son movimientos que se producen en la corteza terrestre, este movimiento es producto de la energía liberada.
- Peso específico: relación entre el peso de una sustancia y su volumen.
- Pie de talud: parte inferior de un talud.
- Pirita: mineral de sulfuro de hierro, brillante y de color amarillo oro.
- Pirrotita: mineral de sulfuro de hierro.
- Plegamientos: efecto producido en la corteza terrestre por el movimiento conjunto de rocas sometidas a una presión lateral.
- Precipitación pluvial: lluvia, llovizna, nieve, granizo.
- Relave: conjunto de desechos tóxicos de procesos mineros como la concentración de minerales.
- Revegetación: actividad que consiste en devolver el equilibrio o restaurar la vegetación de una zona.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

- Slide: es un software de análisis de Estabilidad de Taludes en 2D que utiliza métodos de equilibro límite para el cálculo de la estabilidad.
- Stock: mineral o estéril fragmentado y amontonado en pilas.
- Talud: inclinación de un terreno.
- UIT: unidad impositiva tributaria.
- Veta: cuerpo de roca tabular o laminar que penetra cualquier tipo de roca. Se aplica este término particularmente para intrusiones ígneas de poco espesor como diques o silos y cuyos componentes más comunes son cuarzo o calcita. Muchos depósitos de mena importantes se presentan en formas de vetas junto con otros minerales asociados.
- Yacimiento: es una acumulación natural de una sustancia mineral o fósil, cuya concentración excede el contenido normal de una sustancia en la corteza terrestre (que se encuentra en el subsuelo o en la superficie terrestre) y cuyo volumen es tal que resulta interesante desde el punto de vista económico, utilizable como materia prima o como fuente de energía.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

CAPÍTULO III

TOMA DE MUESTRAS – CASO DE ESTUDIO

3.1. Generalidades

3.1.1. Geología y geomorfología

Según la revisión de la Carta Geológica Nacional, específicamente de la Hoja 22-k de la Geología del cuadrángulo de Cerro de Pasco en este aspecto la zona no presenta situaciones de inestabilidad, inminente, salvo las que corresponden a la geodinámica interna como es el caso de los sismos que puedan afectar a las obras, en algún grado y a los posibles hundimientos (dolinas) de los terrenos calcáreos.

En cuanto a la consistencia del lecho de roca sobre la que se encuentra la acumulación de desmonte se puede afirmar que son suficientemente resistentes las rocas que la conforman. Están compuestas por rocas de la formación Casapalca y del Grupo Excélsior formadas por metamórficas y conglomerados cementados.

Presentan pocos efectos moderados del intemperismo y sus fracturaciones se reducen mayormente a fisuras y fracturas apretadas que mantienen la conformación masiva de las rocas en forma estable. Además, en la zona misma, sobre la que se encuentra el depósito de desmonte no tiene presencia de fallas, de tal manera que no es de temer inestabilidad directa causada por la presión de las cargas depositadas encima.

3.1.2. Topografía

Las labores de topografía realizadas en la zona de estudio tuvieron como finalidad revisar las zonas específicas en las cuales hubo algún cambio debido al movimiento de tierras y los replanteos del pie del talud, así como también se usaran como puntos de control durante toda la actividad de cierre. Estos puntos de control a su vez ayudaron a realizar el levantamiento topográfico debido de depósito.

Trabajos ejecutados

a) Trabajos de campo.

Los trabajos ejecutados en el campo fueron los siguientes:

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

b) Reconocimiento del terreno.

En el reconocimiento de campo se definieron los límites y alcances para el levantamiento topográfico del botadero.

c) Control horizontal y vertical.

Se generaron los puntos de control horizontal y vertical EX1, EX2, EX3, EX4, EX5, EX6 y EX7, que fueron colocados en lugares intervisibles entre sí, duraderos y permanentes en el tiempo. En el Anexo 01 en el Plano 01 "Ubicación de Exploraciones Geotécnicas y Ensayos de Refracción Sísmica" se detalla la ubicación de los puntos de control respecto del botadero.

d) Levantamiento topográfico del área en estudio.

Se realizó el levantamiento topográfico, con estación total a partir de los puntos de control topográfico horizontal y vertical que consistió en la ubicación de estructuras como el poblado colindante al depósito, y accesos a la zona, también se replanteo y actualizo el pie del talud del botadero para poder llevar un mejor control posterior.

Trabajos de gabinete

a) Procesamiento de data topográfica.

Para poder procesar la data topográfica se transfirió la información de la estación total a una PC para ser revisada y corregida. Posterior a ello, las coordenadas en una hoja de cálculo de Excel fueron importadas al software de modelamiento Civil 3D, para a su vez generar las líneas obligatorias y las curvas de nivel que poseen una equidistancia de un metro.

Se procesaron las capas de la planimetría, definiéndose así todas las estructuras existentes, accesos y demás detalles relevantes, los que aparecen graficados en los planos y los puntos de control horizontal y vertical que sirvieron de base para el inicio del caso de estudio.

b) Coordenadas de los puntos de control

Los puntos de control topográficos tuvieron las siguientes coordenadas de ubicación y cota con respecto del nivel del mar:

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Tabla 4
Coordenadas de los puntos de control topográficos.

Vértice	Norte	Este	Cota
EX1	8 818 982,930	360 893,294	4 309,708
EX2	8 818 708,755	360 526,512	4 299,368
EX3	8 818 088,590	360 324,889	4 332,844
EX4	8 817 404,192	361 086,500	4 311,100
EX5	8 818 063,635	361 122,552	4 303,579
EX6	8 818 230,750	361 411,332	4 317,846
EX7	8 818 676,489	361 584,091	4 331,146

Fuente: Elaboración Propia.

3.2. Identificación De Parámetros Geotécnicos.

Como una investigación previa al análisis de estabilidad de los taludes del depósito de desmontes, fue necesaria la realización de diversos estudios geotécnicos, cuya finalidad eran definir los parámetros geotécnicos del caso de estudio y la caracterización geotécnica de todo su perímetro, para así poder simular satisfactoriamente el factor de seguridad presente en los taludes actuales y el de los taludes proyectados (el botadero tiene un área aproximada de 79 ha.= 0.79 Km^2).

Estos estudios se realizaron en zonas consideradas críticas del depósito; consistieron en: inspecciones técnicas del perímetro del depósito de desmontes (para establecer una progresiva), excavación de calicatas, excavación de trincheras, ensayos de densidad de campo, ensayos múltiples de laboratorio, y un análisis mediante el software SLIDE para determinar los factores de seguridad presentes.

3.2.1. Exploración de campo

Estas exploraciones tuvieron como finalidad la caracterización del material compactado que conforma el botadero, para lo cual se realizaron investigaciones geotécnicas las cuales consistieron en: la excavación de calicatas y trincheras con muestreo de suelos y ensayos de densidad de campo; todo esto para un posterior análisis en laboratorio de las muestras obtenidas en las calicatas y trincheras.

Adicional a estos últimos, también se realizaron ensayos de refracción sísmica para conocer los límites de las capas del material acumulado en el botadero y un aproximado del tipo de material presente.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

En esta sección se describe la metodología de la exploración de campo y los resultados obtenidos de la caracterización geotécnica. La ubicación de las actividades desarrolladas en este apartado se muestran en el Anexo 01 “Planos” - Plano 01 “Ubicación de Exploraciones Geotécnicas y Ensayos de Refracción Sísmica”.

Excavación de calicatas y trincheras

Las excavaciones geotécnicas realizadas consistieron en ocho calicatas y siete trincheras, distribuidas alrededor del depósito de desmontes, las cuales fueron realizadas de manera manual y sus profundidades variaron entre uno y tres metros de profundidad. En cada una de estas se realizó un registro de excavación según la norma ASTM D-2488 (Procedimiento de descripción e identificación de suelos visual – manual) detalladas en el Anexo 02.A “Registro de Calicatas y Trincheras”.

Las muestras disturbadas que se tomaron de estas excavaciones tenían como finalidad servir para la ejecución de los ensayos de laboratorio correspondientes, para lo cual cada una de estas muestras fue embalada en bolsas de polietileno e identificada.

En el Anexo 01 “Planos” se muestra el Plano 01 “Ubicación de Exploraciones Geotécnicas y Ensayos de Refracción Sísmica” donde se indican las ubicaciones de las calicatas y trincheras realizadas a lo largo del botadero.

En la Tabla 5 se presenta el resumen de la cantidad de muestras extraídas y las características presentes en cada excavación geotécnica realizada, así como la ubicación de las mismas:

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Tabla 5
Resumen de calicatas y trincheras realizadas.

Calicata/Trinchera	Coordenadas (WGS 84)		Profundidad Total (m)	Nivel Freático (m)	Muestras Alteradas
	Este (m)	Norte (m)			
CAL-1	361 084	8 817 597	2.0	N.A.	2
CAL-2	360 771	8 817 754	1.2	1.0	2
CAL-3	360 667	8 817 891	1.2	1.1	1
CAL-4	360 659	8 818 330	1.0	1.0	1
CAL-5	361 000	8 818 814	1.0	N.A.	2
CAL-6	361 429	8 818 316	1.2	1.00	1
CAL-7	361 303	8 818 190	1.1	0.95	2
CAL-8	361 054	8 817 975	2.5	N.A.	1
TRI-1	361 058	8 817 636	2.5	N.A.	2
TRI-2	360 813	8 817 811	3.0	N.A.	1
TRI-3	360 717	8 817 916	3.0	N.A.	1
TRI-4	360 711	8 818 335	3.0	N.A.	1
TRI-5	360 975	8 818 741	3.0	N.A.	1
TRI-6	361 406	8 818 347	3.0	N.A.	2
TRI-7	361 031	8 817 767	3.0	N.A.	2

Fuente: Elaboración Propia.

Ensayo de densidad de campo

El objetivo de este ensayo es hallar la densidad natural in situ del suelo. Esta se determinó mediante el método del Balón de Caucho debido a la presencia de material granular.

Este ensayo se realizó según la norma ASTM D2167/ NTP 339.256 (Método de ensayo estándar para la determinación de la densidad y peso unitario de suelos in situ por el método del balón de jebe).

El procedimiento consiste en excavar un agujero del diámetro del anillo designado mediante una pala pequeña, obteniendo así un agujero de profundidad de acuerdo al tamaño del material presente; el suelo excavado (o muestra) se pesa, y el volumen se calcula utilizando agua.

Para el cálculo de la densidad húmeda, que en el presente caso es la densidad in situ, se realiza una simple división que consta de lo siguiente:

$$\frac{Peso\ del\ material\ extraído}{Volumen\ del\ agujero\ excavado} \quad (7)$$

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Y para obtener la densidad seca:

$$Densidad\ Húmeda - (Densidad\ Húmeda\ x\ Contenido\ de\ Humedad)$$

Por parte del contenido de humedad se definió con la ayuda de un horno de secado, comparando el peso de las muestras (antes y después del secado), y relacionándolas según la siguiente fórmula de acuerdo a la ASTM:

$$p = \frac{W-D}{D} \quad (8)$$

Dónde: p es la fracción del contenido de humedad evaporable de la muestra, W es la masa de la muestra original y D la masa de la muestra seca.

Estos ensayos fueron realizados al interior de las siete trincheras excavadas.

En la Tabla 6 se muestra el resumen de los resultados del ensayo de densidad de campo:

Tabla 6
Resumen del Ensayo de Densidad de Campo.

Ubicación	Ensayo	Profundidad (m)	Contenido de Humedad (%)	Densidad Natural (gr/cm^3)	Densidad Seca (gr/cm^3)
TRI-1	DE-1	2.5	8	2.55	2.36
TRI-2	DE-2	3.0	8	2.14	1.98
TRI-3	DE-3	3.0	6	2.32	2.19
TRI-4	DE-4	3.0	17	2.51	2.15
TRI-5	DE-5	3.0	10	2.49	2.26
TRI-6	DE-6	3.0	8	2.22	2.06
TRI-7	DE-7	3.0	13	2.20	1.95

Fuente: Elaboración Propia.

Para más información revisar el Anexo 02.B “Registro de Ensayo de Densidad” y el Anexo 03.D “Registro de Ensayos de Humedad”.

Ensayo de refracción sísmica

En los estudios realizados para el caso de estudio, se incluyen 09 líneas de refracción sísmica, las cuales fueron distribuidas 04 de manera transversal al depósito de desmontes, y 05 en el asentamiento humano de Champamarca.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Se tomó como referencia para la realización de estos ensayos la NTP 339.157:2001 (Guía normalizada para el uso del método de refracción sísmica en las investigaciones del subsuelo.).

A continuación se muestra la tabla resumen de los ensayos de refracción sísmica realizados:

Tabla 7
Resumen de los Ensayos de Refracción Sísmica.

Línea	Longitud (m)	Ubicación
1	190	Transversal a los taludes del depósito de desmontes
2	200	Transversal a los taludes del depósito de desmontes
3	180	Transversal a los taludes del depósito de desmontes
4	180	Transversal a los taludes del depósito de desmontes
5	115	Aproximado al A.A.H.H. Champamarca
6	115	Aproximado al A.A.H.H. Champamarca
7 y 8	230	Intersectando al A.A.H.H. Champamarca
9	115	Aproximado al A.A.H.H. Champamarca

Fuente: Elaboración Propia.

En el Anexo 01 “Planos” en el Plano 01 “Ubicación de Exploraciones Geotécnicas y Ensayos de Refracción Sísmica”, se puede apreciar la ubicación de los ensayos de refracción sísmica realizados en la zona de estudio.

El ensayo de refracción sísmica consiste en la medición de tiempos de viaje de las ondas P (ondas compresionales) generadas por un fuerte impacto que se localiza a diferentes distancias a lo largo de un eje en la superficie del suelo.

Para producir la onda sísmica de las primeras cuatro líneas de refracción, se utilizó una carga de dinamita; y para las siguientes cinco un martillo, por seguridad, debido a que estas se encontraban cerca de las casas del A.A.H.H.

La energía que es detectada, se amplifica y registra para determinar el tiempo de arribo en cada punto. El inicio de la grabación se da a partir de un dispositivo que nos da el tiempo cero y así evaluar el tiempo de recorrido.

Tanto tiempo como distancia y la variación del punto de aplicación de energía, permitieron evaluar las velocidades a las que se propaga la onda P a través de los diferentes y suelos presentes en el área, y así brinda una geometría, estructura y continuidad aproximada.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

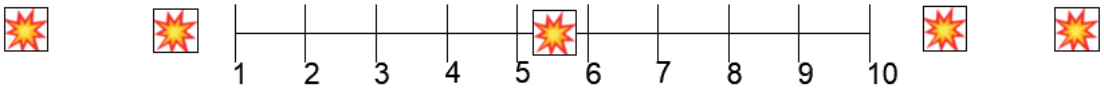
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Todas las formas de análisis manejan criterios de la suposición de la Ley de Snell, en cuanto a la reflexión y refracción de las ondas compresionales.

De los resultados obtenidos (espesores y velocidades) las características geotécnicas pueden ser correlacionadas a la compacidad y densidad, esto puede llevar a cálculos erróneos, por la presencia de niveles freáticos los cuales pueden ser analizados específicamente con la refracción.

Se utilizó una Estación Portátil de Prospección Sísmica McSeis-170 con 10 canales de registro, cables con espaciamiento máximo para geófonos de 15 metros, geófonos magnéticos y una impresora de papel térmico.

La distribución de los puntos de disparo fue de la siguiente manera (geófonos cada 5 metros):



Una vez obtenidos los registros sísmicos, se graficaron las curvas de tiempo-distancia también llamadas domocrónicas; se calcularon las velocidades y espesores de los estratos sísmicos enfocándose en el tiempo, tomando en cuenta la eliminación de tendencias de datos en las series de tiempo y así resaltando las características más importantes para el análisis e interpretación; se obtuvo una identificación aproximada del material presente respecto de la velocidad de propagación de las ondas P a través de estos.

Para realizar la interpretación de los perfiles sísmicos se usó un grupo de programas de refracción sísmica (Sipin, Sipedt, Sipt2); Sipt2 produce un modelo de profundidad a partir de los resultados del Sipin o Sipedt; calcula las velocidades de los estratos mediante técnicas de mínimos cuadrados; luego se estiman las profundidades y el programa ajusta estas últimas a cada estrato de acuerdo a la topografía.

Con los datos de campo y el procedimiento descrito se determinaron los siguientes resultados:

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Tabla 8

Resumen de Resultados de Ensayos de Refracción Sísmica

Línea	Estrato	Vp (m/s)	Tipo de Suelo
	1	780 - 1118	Gravas y Limos
1	2	1520 - 1820	Gravas y Limos medianamente compactos
	3	2600	Basamento Rocoso
	1	550 - 850	Gravas y Limos
2	2	1710	Gravas y Limos medianamente compactos
	3	2160	Basamento Rocoso
	1	800 - 1100	Gravas y Limos
3	2	1500	Gravas y Limos medianamente compactos
	3	2400	Basamento Rocoso
	1	730 - 990	Gravas y Limos
4	2	1450 - 1600	Gravas y Limos medianamente compactos
	3	1780 - 1820	Basamento Rocoso
	1	480	Depósito de Suelo
5	2	1800 - 2000	Roca Fracturada
	3	3000 - 3300	Roca Firme
	1	350	Depósito de Suelo
6	2	1700 - 1800	Roca Fracturada
	3	3000 - 3500	Roca Firme
	1	400 - 500	Depósito de Suelo
7 y 8	2	1900 - 2000	Roca Fracturada
	3	3200 - 3600	Roca Firme
	1	350 - 400	Depósito de Suelo
9	2	1900 - 2000	Roca Fracturada
	3	3250 - 3600	Roca Firme

Fuente: Elaboración Propia.

En el Anexo 02.C “Registro de Ensayos de Refracción Sísmica”, se detallan los registros de campo y la interpretación (domocrónicas).

3.2.2. Ensayos de laboratorio

Se realizaron ensayos de laboratorio con el objetivo de determinar las propiedades principales, ensayos especiales y clasificación, de las muestras obtenidas durante la exploración de campo.

A partir de estas muestras de suelo se efectuaron los siguientes ensayos de laboratorio:

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Ensayos estándar

Del depósito de desmontes fueron extraídas 22 muestras (provenientes de calicatas y trincheras) para la realización de los ensayos de laboratorio correspondientes, así cada muestra fue embalada en bolsas de polietileno y correctamente identificada.

En el caso del ensayo de corte directo, este se realizó con una muestra inalterada, seleccionada de la calicata CAL-8.

Los ensayos realizados fueron estándar para la clasificación de suelos y de propiedades físicas, los cuales consistieron en: Análisis granulométrico por tamizado según la Norma ASTM D-422 (Método de Análisis Granulométrico de Suelos); Contenido de Humedad según la Norma ASTM D-2216 (Método de Ensayo para la determinación del contenido de agua en suelos y rocas); Limites de Atterberg según la Norma ASTM D-4318 (Método de ensayo para la determinación de los limites líquido y plástico; y del índice de plasticidad de los suelos); Clasificación SUCS según la Norma ASTM D-2487 (Método de ensayo para la clasificación geotécnica de suelos; Clasificación Unificada).

Como resultado de los ensayos estándar realizados tenemos los siguientes datos:

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Tabla 9

Resumen de Ensayos Estándar de Clasificación de Suelos.

Ubicación/Muestra	Profundidad (m)	Clasificación SUCS	Granulometría (%)			Límites (%)		Contenido de Humedad (%)
			Finos	Arena	Grava	Límite Líquido	Límite Plástico	
CAL-1/M-1	0.00-1.00	SC	40.6	30.5	28.9	36	24	14
CAL-1/M-2	1.00-2.00	GC	30.1	21.1	48.8	35	22	12
CAL-2/M-1	0.00-0.45	GC	17.7	25.9	56.4	27	18	7
CAL-2/M-2	0.45-1.20	ML	79.6	9.9	10.5	16	13	19
CAL-3/M-1	0.00-1.20	GC	18.2	30.3	51.5	26	18	11
CAL-4/M-1	0.00-1.00	GC-GM	33.0	27.1	39.9	24	19	9
CAL-5/M-1	0.30-1.00	GM	22.6	34.4	43.0	36	28	16
CAL-6/M-1	0.10-1.20	GP-GM	5.5	9.5	85.0	----	NP	4
CAL-7/M-1	0.00-0.70	GC-GM	16.0	28.2	55.8	28	22	7
CAL-7/M-2	0.70-1.10	SW-SM	8.8	50.3	40.9	----	NP	12
CAL-8/M-1	0.60-2.50	GM	30.1	30.5	39.4	----	NP	13
TRI-1/M-1	0.20-0.60	GP-GM	11.7	32.3	56.0	----	NP	6
TRI-1/M-2	0.60-2.50	GC	16.0	19.3	64.7	29	22	8
TRI-2/M-1	0.30-3.00	GC-GM	16.6	23.5	56.9	23	17	8
TRI-3/M-1	0.00-3.00	GC-GM	12.4	24.7	62.9	24	18	6
TRI-4/M-1	0.30-3.00	SC-SM	39.5	40.5	20.0	24	18	17
TRI-5/M-1	0.00-3.00	GC	12.2	28.4	59.4	24	17	10
TRI-6/M-1	0.00-2.00	GP-GC	11.5	30.8	57.7	24	17	7
TRI-6/M-2	2.00-3.00	GC	12.4	29.1	58.5	32	20	8
TRI-7/M-1	0.00-2.50	GM	21.2	28.7	50.1	41	32	18
TRI-7/M-2	2.50-3.00	GC-GM	22.5	30.8	46.7	20	15	13

Fuente: Elaboración Propia.

En el Anexo 03.A “Registro de Ensayos Estándar de Laboratorio” se detallan los informes de laboratorio junto con los resultados obtenidos para cada muestra.

Ensayos especiales

a) Ensayo de Corte Directo y Compresión Triaxial

Con la finalidad de determinar los parámetros resistentes del suelo a nivel de talud (cohesión y ángulo de resistencia al corte) se realizaron cinco ensayos de corte directo y dos ensayos triaxiales CU (Consolidado No Drenado) con muestras de diámetros de 4” y 6”. Estos ensayos fueron ejecutados sobre muestras obtenidas de las excavaciones geotécnicas (calicatas y trincheras) realizadas en la zona del caso de estudio.

A continuación se muestra la tabla que resume los resultados de los siete ensayos realizados:

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Tabla 10
Resumen de Resultados de Ensayos de Corte Directo y Triaxial CU.

Ubicación	Muestra	Profundidad (m)	Clasificación SUCS	Parámetros Geotécnicos ø (°)	C (kg/cm^2)	Tipo de Ensayo
Talud (km 1+300)	TRI-4 (M-1)	0.30-3.00	SC-SM	36.0	0.29	
Talud (km 1+900)	TRI-2 (M-1)	0.30-3.00	GC-GM	34.6	0.34	
Talud (km 2+400)	TRI-1 (M-2)	0.60-2.50	GC-GM	38.8	0.35	Corte Directo
Pie de Talud (km 2+900)	CAL-8	0.60-2.50	GM	42.7	0.28	
Talud (km 3+350)	TRI-6 (M-2)	2.00-3.00	GC	38.8	0.33	
Talud (km 1+700)	TRI-3 (M-1)	0.00-3.00	GC-GM	40.9	0.04	Triaxial CU (6")
Talud (km 2+700)	TRI-7 (M-2)	2.50-3.00	GC-GM	39.1	0.00	Triaxial CU (4")

Fuente: Elaboración Propia.

En el Anexo 03.B “Registro de Ensayos Corte Directo” y Anexo 03.C “Registro de Ensayos de Compresión Triaxial” se detallan los informes de laboratorio junto con los resultados obtenidos para cada muestra.

3.2.3. Descripción Estratigráfica

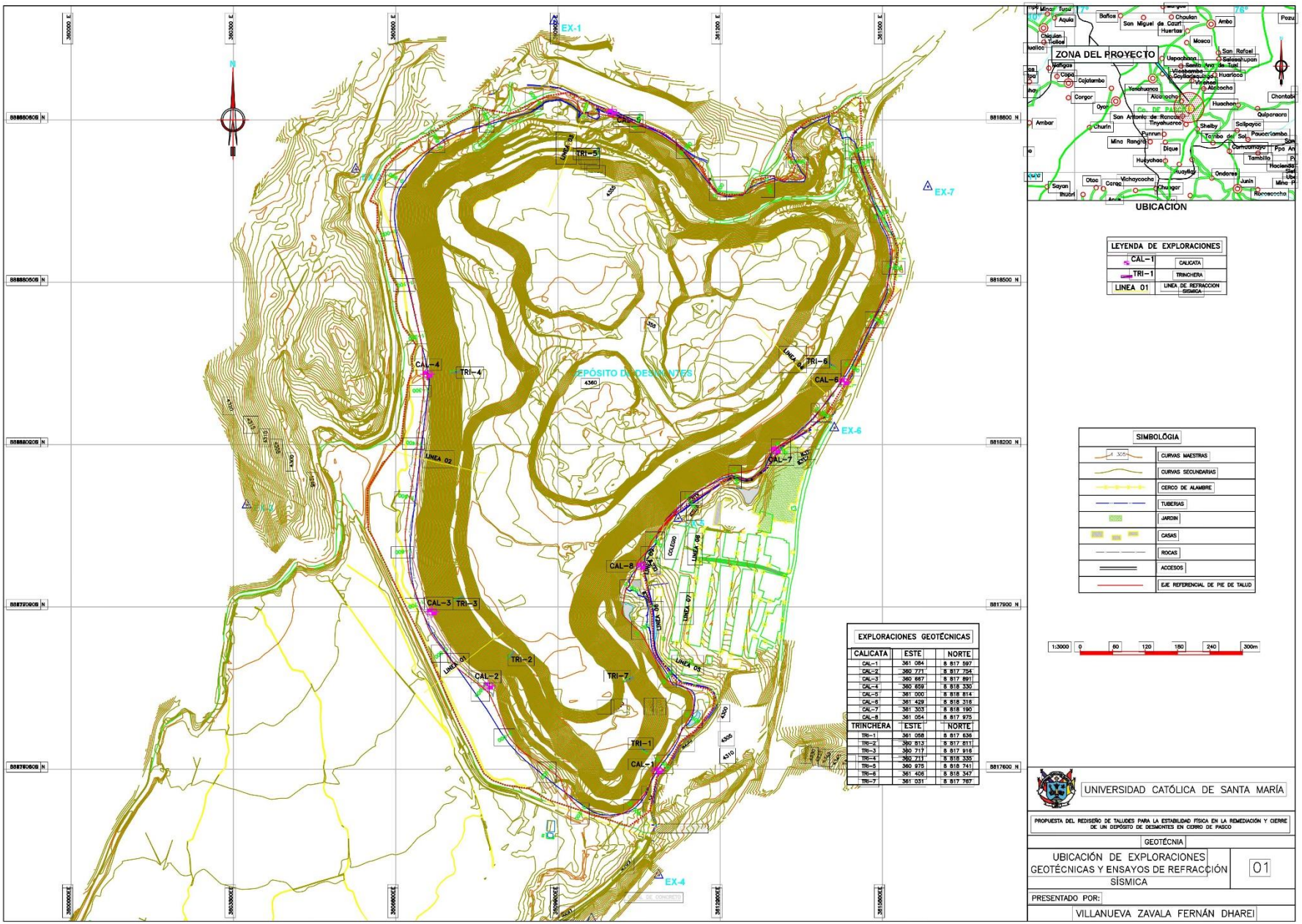
Caracterización geotécnica del perímetro (eje referencial) del depósito

Para el desarrollo de la caracterización geotécnica del perímetro del botadero se tuvieron en consideración los siguientes puntos a resaltar: geometría del talud, disposición del material e inestabilidad potencial del talud.

Se estableció un eje referencial con progresivas llamado “eje de evaluación” y se evaluó el perímetro del depósito de desmontes, tanto en la cresta como en el pie del talud. En el Anexo 01 “Planos” en el Plano “Ubicación de Exploraciones Geotécnicas y Ensayos de Refracción Sísmica” se puede apreciar dicho eje de evaluación.

Para una mejor secuencia en la lectura del presente trabajo de investigación, se presenta el plano topográfico con la ubicación del eje de evaluación y sus respectivas progresivas:

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis



UBICACION

LEYENDA DE EXPLORACIONES	
CAL-1	CALICATA
TRI-1	TRINCHERA
LINEA 01	LINEA DE REFRACCION SISMICA

SIMBOLOGIA
CURVAS MAESTRAS
CURVAS SECUNDARIAS
CERCO DE ALAMBRE
TUBERIAS
JARDIN
CASAS
ROCAS
ACCESOS
EJE REFERENCIAL DE PIE DE TALUD

1:3000 0 60 120 180 240 300m

EXPLORACIONES GEOTÉCNICAS		
CALICATA	ESTE	NORTE
CAL-1	361 084	8 817 597
CAL-2	360 777	8 817 754
CAL-3	360 687	8 817 891
CAL-4	360 859	8 818 330
CAL-5	361 000	8 818 814
CAL-6	361 429	8 818 318
CAL-7	361 305	8 818 190
CAL-8	361 054	8 817 975
TRINCHERA	ESTE	NORTE
TRI-1	361 058	8 817 636
TRI-2	360 813	8 817 811
TRI-3	360 717	8 817 916
TRI-4	360 711	8 818 335
TRI-5	360 975	8 818 741
TRI-6	361 406	8 818 547
TRI-7	361 031	8 817 787

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

PROPUESTA DEL REDISEÑO DE TALUDES PARA LA ESTABILIDAD FÍSICA EN LA REMEDIACIÓN Y CIERRE DE UN DEPÓSITO DE DESMONTES EN CERRO DE PASCO

GEOTÉCNIA

UBICACIÓN DE EXPLORACIONES GEOTÉCNICAS Y ENSAYOS DE REFRACCIÓN SÍSMICA

01

PRESENTADO POR:

VILLANUEVA ZAVALA FERNÁN DHAREI

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

A continuación se presentan (en la Tabla 11) las fichas de caracterización con sus tramos correspondientes:

Tabla 11
Tramos Caracterizados.

Tramo	Descripción
0+00 -> 0+250	Altura total del talud 54m, altura de primer banco 25m, altura de segundo banco 29m, ancho de bancos de 6m a 12m. **Cresta:** material desmonte de mina, color plomo, compacto, húmedo, bolones de 6" como máximo y bloques de 25", presenta agua empozada. **Talud:** material desmonte de mina, color plomo, medianamente compacto, húmedo, gravas de 2", bolones de 6" como máximo y bloques de 20", el material presenta proceso de oxidación. **Pie:** el material presente es grava con arena, suelto, muy húmedo, con empozamiento de agua. **Progresiva 0+250 a 0+400:** altura total de talud 52m, primer banco de 30m, segundo banco de 22m. Ancho de bancos de 20m a 25m. **Progresiva 0+400 a 0+500:** altura total de talud 60m, altura de primer banco 15m, segundo banco 20m, tercer banco 25m. Ancho de bancos de 15m a 20m.
0+250 -> 0+500	**Cresta:** material desmonte de mina, color plomo, compacto, húmedo, bolones con tamaño máximo de 6" y bloques de 30". **Talud:** material desmonte de mina, color plomo, muy compacto, húmedo, superficialmente presenta gravas de 2", bolones de 10" como máximo y bloques de 30". El material presenta oxidación. **Pie:** contiene grava a 1.50m, suelto, húmedo, presenta empozamiento de agua. **Problemas Geotécnicos:** inestabilidad potencial del talud (progresiva 0+450).
0+500 -> 0+600	Altura total del talud 60m, altura de los tres taludes entre 10m y 15m, último interbanco de 25m, anchos de bancos entre 5m a 30m. **Cresta:** material desmonte de mina, color plomo, muy compacto, húmedo, bolones de 6" como máximo y bloques de 30". **Talud:** material desmonte de mina, color plomo, muy compacto, húmedo, el tamaño de gracas, bolones y bloques son de 2", 6" y 15" respectivamente. Material oxidado. **Pie:** material grava a 1.50m, suelto, húmedo, presenta empozamiento de agua.
0+700 -> 0+800	Altura total del talud 65m, altura de primer talud 14m, segundo 34m, tercero 17m, anchos de bancos de 10m a 15m. **Corona:** material desmonte de mina, color plomo, muy compacto, húmedo, bolones de 6" y bloques de 30". **Talud:** material desmonte de mina, color plomo, muy compacto, húmedo, presenta gravas de maximo 2", bolones de 10" y bloques de 30". Presenta proceso de oxidación. **Pie:** material desmonte de mina, suelto, muy húmedo, con empozamiento de agua.
0+800 -> 0+900	Altura total de talud 65m, altura primer talud 14m, segundo talud 34m, tercer talud 17m; ancho de bancos de 10m a 15m. **Cresta:** material desmonte de mina, color plomo, muy compacto, húmedo, bolones de 6" y bloques de 30" como máximo. **Talud:** material desmonte de mina, color plomo, muy compacto, húmedo, presenta gravas de 2", bolones de máximo 10" y bloques de 30". Presenta proceso de oxidación. **Pie:** material relave, suelto, saturado.
0+900 -> 1+200	Altura total de talud 50m, no posee interbancos. **Cresta:** material desmonte de mina, color plomo, muy compacto, húmedo, bolones de 6" y bloques de 30". **Talud:** material desmonte de mina, color plomo, muy compacto, húmedo, presenta gravas de 2", bolones de 10" y bloques de 30", presenta oxidación. **Pie:** material relave, suelto, saturado, con presencia de bloques de 35" a 50".

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

1+200 -> 1+300	Altura total de talud 60m, primer talud de 45m, ancho de banco de 6m a 9m. **Cresta:** material desmonte de mina color plomo, muy compacto, húmedo, bolones de 6" y bloques de 30". **Talud:** material desmonte de mina, color plomo, muy compacto, húmedo, gravas de 2", bolones de 10" y bloques de 30". Presenta oxidación. **Pie:** material relave, suelto, presenta bloques de 12" a 50". **Problemas Geotécnicos:** inestabilidad potencial del talud (progresiva 1+300).
1+400 -> 1+800	Altura total de talud 62m, altura primer talud 47m, ancho de banco de 7m a 9m. **Cresta:** material desmonte de mina, color plomo, muy compacto, húmedo, bolones de 6" y bloques de 30". **Talud:** material desmonte de mina, color plomo, medianamente compacto, húmedo, presenta gravas de 2", bolones de 10" y bloques de 30". Presenta oxidación. **Pie:** material relave, suelto, saturado, presenta bloques de 20" a 60". **Problemas Geotécnicos:** inestabilidad potencial del talud (progresiva 1+700).
1+800 -> 2+100	Altura total de talud 62m, altura primer talud entre 24m y 45m, ancho de banco de 6m a 10m. **Cresta:** material desmonte de mina, color plomo, muy compacto, húmedo, bolones de 6" y bloques de 30". **Talud:** material desmonte de mina, color plomo, compacto, húmedo, presenta gravas de 2" y bolones de 10". Presenta oxidación. **Pie:** material de relave, suelto, saturado, bloques de 20" a 40". **Problemas Geotécnicos:** inestabilidad potencial del talud (progresiva 1+900).
2+200 -> 2+600	Altura total de talud 36m, altura primer talud 9m, ancho de bancos de 12m. **Cresta:** material desmonte de mina, color plomo, muy compacto, húmedo, bolones de 10" y bloques de 40". **Talud:** material desmonte de mina, color plomo, compacto, húmedo, presenta gravas de 2", bolones de 10" y bloques de 20". Presenta proceso de oxidación. **Problemas Geotécnicos:** inestabilidad potencial del talud (progresiva 2+400).
2+700 -> 2+850	Altura total de talud 53m, no presenta interbancos. **Cresta:** material desmonte de mina, color plomo, muy compacto, húmedo, no presenta fisuras. **Talud:** material desmonte de mina, color plomo, compacto, húmedo, presenta gravas de 2", bolones de 10" y bloques de 20". Presenta oxidación. Protegido con geomalla verde. **Pie:** terreno natural, medianamente compacto, húmedo, presenta bloques de 15" a 50". **Problemas Geotécnicos:** inestabilidad potencial del talud (progresiva 2+800).
2+900 -> 3+100	Altura total de talud 40m, no presenta interbancos. **Cresta:** material desmonte de mina, color plomo, muy compacto, húmedo, sin fisuras. **Talud:** material desmonte de mina, color plomo, medianamente compacto, húmedo, presenta gravas de 2", bolones de 10" y bloques de 20". Presenta oxidación. Protegido con geomalla verde. **Pie:** material desmonte de mina, medianamente compacto, húmedo, presenta bloques de 15" a 30". **Problemas Geotécnicos:** inestabilidad potencial del talud (progresiva 2+950).
3+200 -> 3+400	Altura total de talud 27m, no presenta interbancos. **Cresta:** material desmonte de mina, color plomo, muy compacto, húmedo, no presenta fisuras. **Talud:** material desmonte de mina, color plomo, compacto, húmedo, presenta gravas de 2", bolones de 10" y bloques de 40". Presenta oxidación. **Pie:** material desmonte de mina, medianamente compacto, húmedo, presenta bolones de 10" y flujo de agua superficial. **Problemas Geotécnicos:** inestabilidad potencial del talud (progresiva 3+350).
3+400 -> 3+800	Altura total de talud 25m, no presenta interbancos. **Cresta:** material desmonte de mina, color plomo, muy compacto, húmedo, no presenta fisuras. **Talud:** material desmonte de mina, color plomo, medianamente compacto, húmedo, presenta gravas de 2", bolones de 10" y bloques de 40". Presenta proceso de oxidación. **Pie:** material desmonte de mina, medianamente compacto, húmedo, presenta bolones de 10".

Fuente: Elaboración Propia.

Descripción estratigráfica del depósito (por secciones)

El eje de evaluación generado a lo largo del pie del talud del botadero, se realizó con el fin de hacer referencia a la evaluación geotécnica realizada.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Se elaboraron diferentes perfiles estratigráficos del caso de estudio en las siguientes progresivas del eje de evaluación, tomando también data de los registros de calicatas y trincheras, ensayos de laboratorio y los resultados de los ensayos de refracción sísmica:

Sección 1, km 0+450

Esta sección está ubicada de manera referencial en la coordenada 360 975 E, 8 818 741 N, a nivel estratigráfico está compuesto por grava arcillosa con arena (GC), su color va de amarillo a beige, húmedo, muy compacto, no plástico, presenta grava con tamaño máximo de 3" de forma angular, alargada y achatada; en todo el estrato de la calicata se presenta un proceso de oxidación.

Para el análisis de estabilidad se consideró una densidad húmeda (in situ) igual a 2.49 g/cm^2 aproximada a una profundidad de 3m. A su vez, en el pie del talud se observó material de relave.

La composición granulométrica aproximada de la sección es:

- Bloques: 5%
- Bolones: 15%
- Gravas: 80%

Sección 2, km 1+300

Esta sección está ubicada de manera referencial en la coordenada 360 711 E, 8 818 335 N, a nivel estratigráfico está conformado por arena limosa arcillosa con grava (SC-SM), su color es pardo, muy húmedo, medianamente compacto, presenta grava con un tamaño máximo de 2", achatadas y alargadas.

Para el análisis de estabilidad se consideró una densidad húmeda (in situ) de 2.51 g/cm^2 tomado a 3m de profundidad. Al pie del talud se presenta relave; se muestran bloques que van desde 12" hasta 50".

La composición granulométrica aproximada del talud es:

- Bloques: 10%
- Bolones: 20%
- Gravas: 70%

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Sección 3, km 1+700

Esta sección está ubicada de manera referencial en la coordenada 360 717 E, 8 817 916 N, a nivel estratigráfico está conformado por grava limosa arcillosa con arena (GC-GM) de color pardo a marrón, el material es húmedo, medianamente compacto, presenta también grava de un tamaño máximo de 3", de forma alargada y achatada.

Para el análisis de estabilidad se consideró una densidad húmeda (in situ) de 2.31 g/cm^2 tomada a 3m de profundidad.

Al pie del talud se presenta relave; se observa la presencia de bloques con tamaño de 20" hasta 60".

La composición granulométrica aproximada del talud es:

- Bloques: 10%
- Bolones: 30%
- Gravas: 60%

Sección 4, km 1+900

Esta sección está ubicada de manera referencial en la coordenada 360 813 E, 8 817 811 N, a nivel estratigráfico está conformado por grava limosa arcillosa con carena (GC-GM), de color marrón a pardo, húmedo, medianamente compacto, presenta grava de 2" como máximo, de forma achatada y alargada. El material está en proceso de oxidación.

Para el análisis de estabilidad a realizar se consideró la densidad húmeda (in situ) de 2.14 g/cm^2 tomado a los 3m de profundidad.

Al pie del talud se encuentra material de relave; se aprecian también bloques de un tamaño entre 20" y 40".

La composición granulométrica aproximada del talud es:

- Bloques: 20%
- Bolones: 20%
- Gravas: 60%

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Sección 5, km 2+400

Esta sección está ubicada de manera referencial en la coordenada 361 058 E, 8 817 636 N, a nivel estratigráfico está conformada por grava arcillosa con arena (GC), posee un color marrón a pardo, húmedo, muy compacto, presenta gravas de 3" de forma alargada y achatada. El material de todo el estrato presenta oxidación.

Para el análisis de estabilidad a realizar se consideró la densidad húmeda (in situ) de 2.55g/cm^2 tomada a una profundidad de 2.5m.

Al pie del talud el material que predomina es desmonte de mina, medianamente compacto, húmedo, con la presencia de bolones de tamaño de 12" a 50".

La composición granulométrica aproximada del talud es:

- Bloques: 20%
- Bolones: 30%
- Gravas: 50%

Sección 6, km 2+800

Esta sección está ubicada de manera referencial en la coordenada 361 031 E, 8 817 767 N, a nivel estratigráfico está conformada por grava limosa con arena (GM), posee un color pardo amarillo, húmedo, compacto, presenta grava de 3".

Para el análisis de estabilidad se consideró la densidad húmeda (in situ) de 2.2 g/cm^2 tomada a una profundidad de 3m.

Al pie del talud el material predominante es terreno natural, medianamente compacto a compacto, húmedo, se aprecia la presencia de bloques que van desde los 15" hasta los 50" de tamaño.

La composición granulométrica aproximada del talud es:

- Bloques: 5%
- Bolones: 20%
- Gravas: 75%

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Sección 7, km 2+950

En esta sección se deduce de la inspección visual realizada en campo, que el perfil estratigráfico es similar al de la Sección 6, por lo cual se opta por usar la misma densidad para el análisis de estabilidad.

Sección 8, km 3+350

Esta sección está ubicada de manera referencial en la coordenada 361 406 E, 8 818 347 N, a nivel estratigráfico está conformada por grava arcillosa con arena (GC), de color pardo oscuro, húmedo, compacto, presenta gravas de 3".

Para el análisis de estabilidad se consideró una densidad húmeda (in situ) de 2.22 g/cm^2 tomada a una profundidad de 3m.

Al pie del talud el material predominante es desmonte de mina, medianamente compacto, húmedo; presenta bolones de 10" y afloramiento de agua.

La composición granulométrica aproximada del talud es:

- Bloques: 10%
- Bolones: 20%
- Gravas: 70%

3.3. Análisis de Estabilidad de Taludes: Situación Actual

En esta sección se analizó la estabilidad física de los taludes del caso de estudio, para ello se integró toda la información que se desarrolló en puntos anteriores, referentes al depósito de desmontes. Este análisis involucra también una evaluación de la geometría de los taludes del botadero con el fin de determinar las secciones más críticas desde un punto de vista de estabilidad física. Todo esto con el fin de determinar los factores de seguridad mínimos presentes en los taludes del caso de estudio.

3.3.1. Criterios y método de análisis

El método más utilizado para resolver cálculos de estabilidad por rotura circular es el método por dovelas, que es bastante tedioso en forma manual y puede dar origen a diversos errores, es por ello que usualmente se realiza con la ayuda de software especializados, en este caso se usó el software SLIDE versión 6.0 de Rocsience.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

SLIDE determina los factores de seguridad empleando métodos de equilibrio límite. Este programa puede analizar superficies circulares de falla, o cualquier tipo de falla según se especifique, mediante diferentes métodos de análisis como el método simplificado de Bishop, Janbu, Spencer y Morgenstern-Price.

El análisis de estabilidad para el caso de estudio se realizó para condiciones estáticas y pseudo-estáticas (condiciones de sismo) mediante el método simplificado de Bishop, a fin de calcular los factores de seguridad (FS) más bajos presentes. Esto se debe a que por lo general, el factor de seguridad obtenido por este método para fallas de superficie circular es diferente alrededor del 5% del que se obtiene usando un método de análisis más estricto como lo es el de Morgenstern-Price. Debido a ello y por propósitos prácticos el método simplificado de Bishop es el más satisfactorio.

Para el análisis pseudo-estático, la "Guía Ambiental para la Estabilidad de Taludes de Depósitos de Desechos Sólidos de Mina" propone utilizar un coeficiente sísmico que sea 50% de la aceleración máxima del terreno (Z o Peak Ground Aceleration).

3.3.2. Secciones de análisis

Según la geometría de los taludes del botadero y su topografía se identificaron ocho secciones críticas con respecto de las progresivas del eje de evaluación a lo largo del pie de talud del depósito de desmonte.

Las secciones críticas dependen de los siguientes criterios:

- Sección de potencial falla.
- Mayor altura de talud.
- Pendiente pronunciada.

Estas secciones poseen una altura de talud entre 45m y 60m, con un ángulo general de talud que varía entre 20° y 35°. En el Anexo 01 "Planos" - Planos 03 y 04, se detallan las características de las secciones críticas tomadas.

En la Tabla 12 presentada a continuación se mencionan las secciones críticas y sus progresivas correspondientes:

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Tabla 12
Resumen de Tramos y Progresivas

Tramo Analizado	Sección	Progresiva (km)	Descripción de problemas geotécnicos
0+250 a 0+600	1	0+450	Inestabilidad potencial del talud debido a su geometría y mala distribución de material. Filtración de aguas, baja capacidad admisible al pie del talud.
0+700 a 1+300	2	1+300	Inestabilidad potencial del talud debido a su geometría y mala distribución de material. Presencia de aguas superficiales.
1+400 a 1+800	3	1+700	Inestabilidad potencial del talud debido a su geometría y mala distribución de material. Presencia de aguas superficiales.
1+800 a 2+100	4	1+900	Inestabilidad potencial del talud debido a su geometría y mala distribución de material.
2+200 a 2+600	5	2+400	Inestabilidad potencial del talud debido a su geometría y mala distribución de material.
2+700 a 2+850	6	2+800	Inestabilidad potencial del talud debido a su geometría y mala distribución de material. Compactación media.
2+900 a 3+100	7	2+950	Inestabilidad potencial del talud debido a su geometría y mala distribución de material. Compactación media.
3+200 a 3+800	8	3+350	Inestabilidad potencial del talud debido a su geometría y mala distribución de material. Compactación media.

Fuente: Elaboración Propia.

En el Anexo 01 “Planos” - Plano 02 “Ubicación de Secciones para Análisis de Estabilidad”, se detalla la ubicación de estas secciones críticas con respecto del depósito de desmontes.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

3.3.3. Sismicidad en el área

En el mundo existen dos zonas muy importantes de actividad sísmica, el Perú se encuentra dentro de una de ellas, el llamado Cinturón Circumpacífico (Cinturón de Fuego). En esta última han ocurrido el 80% de eventos sísmicos alrededor del mundo. Por lo tanto nuestro país es considerado de alta sismicidad.

Si bien es así, en el Perú se han establecido cuatro zonas sísmicas, las cuales presentan diferentes características de acuerdo a que tan ocurrente sea la presencia de sismos.

Así considerando el Mapa de Zonificación Sísmica del Perú, propuesto por la norma Sismo-Resistente E 030 del Reglamento Nacional de Construcciones, la Ciudad de Cerro de Pasco está comprendida en la Zona 3, correspondiéndole una alta sismicidad (PGA o Z = 0.35 g).

De acuerdo a estos antecedentes, el coeficiente sísmico que corresponde al análisis de la estabilidad física de los taludes del caso de estudio en condiciones pseudo-estáticas será CS= 0.17 g, el cual representa el 50% de la aceleración máxima del terreno (0.35 g para un periodo de retorno de 200 años), según la "Guía Ambiental para la Estabilidad de Taludes de Depósitos de Desechos Sólidos de Mina" y la US Army Corps of Engineers.

En resumen, los parámetros destacables son los siguientes:

- Factor de Zona: Z= 0.35 g
- Perfil del suelo tipo: T= S_1
- Periodo predominante: Tp= 0.4 s
- Factor de amplificación del suelo: S= 1.0

Para más información y detalle revisar la Norma E 030 del diseño sismo-resistente.

3.3.4. Parámetros de resistencia

Como resultado de la evaluación de campo, los ensayos triaxiales y los ensayos de corte directo realizados en laboratorio, se han logrado diferenciar los parámetros geotécnicos del material presente en depósito, así como el tipo material que conforma cada sección crítica de los taludes del caso de estudio.

Para el análisis de estabilidad correspondiente los parámetros del talud requeridos fueron los siguientes:

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

- Peso Unitario in situ (húmedo) (ϒ)
- Cohesión (C)
- Ángulo de Resistencia al Corte (Φ)

Considerando los resultados de los ensayos de campo y laboratorio realizados se seleccionaron los valores de los parámetros correspondientes para cada sección analizada del depósito de desmonte.

En la Tabla 13 se muestran los parámetros geotécnicos de los diferentes tipos de materiales considerados en el análisis de estabilidad de los taludes del depósito de desmontes:

Tabla 13
Resumen de los parámetros geotécnicos empleados en el análisis de estabilidad.

Sección	Progresiva (km)	Estrato	C' (kg/cm^2)	C' (kPa)	Φ' (°)	ϒ (gr/cm^3)	ϒ (kN/m^3)
1	0+450	Grava arcillosa con arena	0.30	29.42	32.0	2.49	24.42
		Grava con limo - muy compacto	0.50	49.03	34.0	2.49	24.42
		Arena limosa con grava	0.29	28.44	36.0	2.51	24.61
2	1+300	Grava con limo - muy compacto	0.20	19.61	38.0	2.51	24.61
		Depósito de relave	0.35	34.32	0.0	1.50	14.71
		Grava arcillosa con arena	0.04	3.92	40.9	2.20	21.57
3	1+700	Grava con limo - muy compacto	0.20	19.61	41.0	2.20	21.57
		Depósito de relave	0.35	34.32	0.0	1.50	14.71
		Grava arcillosa con arena	0.34	33.34	34.6	2.14	20.99
4	1+900	Grava con limo - muy compacto	0.20	19.61	36.0	2.30	22.56
		Depósito de relave	0.35	34.32	0.0	1.50	14.71
		Grava arcillosa con arena (desmonte)	0.35	34.32	38.8	2.55	25.01
5	2+400	Grava con limo - muy compacto	0.20	19.61	40.0	2.55	25.01
		Grava arcillosa con arena (suelo natural)	0.15	14.71	29.5	2.00	19.61
		Grava limosa con arena (desmonte)	0.00	0.00	39.1	2.00	19.61
6	2+800	Grava con limo - muy compacto	0.20	19.61	41.0	2.20	21.57
		Grava limosa con arena (suelo natural)	0.28	27.46	42.7	2.10	20.59
		Grava limosa con arena (desmonte)	0.00	0.00	39.1	2.00	19.61
7	2+950	Grava con limo - muy compacto	0.20	19.61	41.0	2.20	21.57
		Grava limosa con arena (suelo natural)	0.28	27.46	42.7	2.10	20.59
		Grava arcillosa con arena	0.33	32.36	38.8	2.22	21.77
8	3+350	Grava con limo - muy compacto	0.20	19.61	40.0	2.30	22.56
		Grava con limo	0.28	27.46	27.0	1.90	18.63

Fuente: Elaboración Propia.

3.3.5. Factores de seguridad

En la actualidad existen una variedad de normativas nacionales e internacionales que son bien aceptadas en el Perú, en las que se regula el factor de seguridad mínimo requerido. La elección o consideración de este factor de seguridad dependerá de la temporalidad de la obra

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

(provisional o permanente) y del análisis a realizar (estático o pseudo-estático). En la Tabla 14 se puede consultar una recopilación de estos factores según diferentes normativas:

Tabla 14
Factores de seguridad en el análisis de estabilidad de taludes.

Normativa	Talud Temporal		Talud Permanente	
	Estático	Pseudo-estático	Estático	Pseudo-estático
FHWA-NHI-11-032	--	1.1	--	1.1
AASHTO LRFD	1.33-1.53	1.1	1.33-1.53	1.1
NAVFAC-DM7	1.3-1.25	1.2-1.15	1.5	1.2-1.15
CE 020	--	--	1.5	1.25

Fuente: Elaboración Propia.

Ya que los taludes del caso de estudio representan una obra permanente, debido al cierre y remediación del depósito, los factores de seguridad (FS) mínimos considerados para este análisis son:

- En condición estática: 1.5
- En condición pseudoestática: 1.1 (coeficiente sísmico = 0.17g)

3.4. Conclusiones

En conclusión, se obtuvieron muestras significativas de material perteneciente al depósito de desmontes mediante las técnicas descritas anteriormente, estas fueron evaluadas y analizadas en un laboratorio especializado, para así determinar los parámetros geotécnicos principales a usar en la evaluación de la estabilidad física de los taludes del depósito de desmontes, los cuales son:

- Cohesión (C)
- Peso Unitario in situ (húmedo) (ϒ)
- Ángulo de Resistencia al Corte (Φ)

Para esto algunos de los ensayos realizados fueron los de contenido de humedad, corte directo y triaxial, entre otros.

A su vez durante la exploración de campo se realizó también una descripción del terreno alrededor del depósito de desmontes (sus taludes) y así poder tener una idea clara de cómo estos se encontraban. A partir de ello y el levantamiento topográfico, se estableció una serie

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

de progresivas, las cuales sirvieron como referencia para establecer 8 secciones críticas de análisis (cada una referenciada de acuerdo a una progresiva).

También se determinó, con los estudios de la sismicidad presente en la zona, que el valor para el coeficiente sísmico seria de 0.17g (debido a que Cerro de Pasco se encuentra en la Zona 3 del Mapa de Zonificación Sísmica del Perú), el cual sería utilizado en el análisis pseudo-estático de los taludes.

Finalmente se estableció que para los análisis en condiciones estáticas y pseudo-estáticas se utilizaría como valores representativos de estabilidad los factores de seguridad de 1.5 y 1.1 respectivamente, esto quiere decir, que si los valores del factor de seguridad resultantes de los taludes del depósito de desmontes son superiores a 1.5 y 1.1, serán estables y no habrá un alto riesgo de deslizamientos.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

CAPÍTULO IV

ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

4.1. Resultados del análisis de estabilidad de taludes

Una vez definidas las propiedades geotécnicas y características geométricas del depósito de desmontes, se procedió a analizar las ocho secciones descritas en el capítulo anterior, esto con el fin de identificar las superficies de falla más críticas (es decir el menor factor de seguridad). Todo este procedimiento con la ayuda del software SLIDE de Rocsience.

Se ha considerado una aceleración máxima del terreno de 0.35 g para un periodo de retorno de 200 años. Para dicho periodo se seleccionó un coeficiente sísmico que representa el 50% de la aceleración máxima, por lo tanto el CS= 0.17.

Según el análisis realizado en el punto 3.3.5 de la presente tesis, los factores de seguridad mínimos a considerar en el análisis de estabilidad física del caso de estudio, se detallan en la Tabla 15 presentada a continuación:

Tabla 15
Factores de seguridad recomendados para el caso de estudio.

Factores de Seguridad Mínimos Recomendados	
Análisis Estático	Análisis Pseudo-estático
1.5	1.1

Fuente: Elaboración Propia.

4.1.1. Factores de seguridad obtenidos

Los resultados de los análisis de estabilidad de taludes realizados a las diferentes secciones del depósito, tanto en condiciones estáticas como en condiciones pseudo-estáticas, son las que se presentan en la Tabla 16:

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Tabla 16
Resultados del análisis de estabilidad del depósito de desmonte.

Sección de Análisis	Factor de seguridad	
	Estático (α=0)	Pseudoestático (α=0.17g)
1	1.57	1.12
2	1.55	1.14
3	1.44	1.03
4	1.57	1.14
5	1.89	1.4
6	1.24	0.88
7	1.78	1.21
8	1.99	1.47

Fuente: Elaboración Propia.

En el Anexo 01 “Planos” - Plano 03 y 04 “Secciones de análisis”, se pueden apreciar los taludes analizados, con el tipo de material que corresponde, nivel de agua y dimensionamiento.

En el Anexo 04 “Análisis de estabilidad de taludes – SLIDE”, se muestran los resultados del análisis de estabilidad en el software SLIDE, con su correspondiente sección de análisis, factor de seguridad y superficie de falla crítica.

4.1.2. Comparación con los factores de seguridad mínimos recomendados

De los resultados obtenidos en el análisis de estabilidad de taludes del caso de estudio, podemos resaltar dos secciones que no logran alcanzar el factor de seguridad mínimo requerido, por ello son consideradas inestables físicamente, estas secciones presentan:

- La Sección 3 presentó un factor de seguridad de 1.44 para condiciones estáticas y de 1.03 para condiciones pseudo-estáticas, lo cual se encuentra por debajo del mínimo recomendado (1.5 y 1.1 respectivamente). Esta sección es inestable.
- La Sección 6 presentó un factor de seguridad de 1.24 para condiciones estáticas y de 0.88 para condiciones pseudo-estáticas, lo cual se encuentra por debajo del mínimo recomendado (1.5 y 1.1 respectivamente. Esta sección es inestable.

En la Tabla 17 se presenta el resultado de la comparación con los factores de seguridad recomendados:

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Tabla 17
Condición de las secciones de análisis según el factor de seguridad recomendado.

Sección de Análisis	Progresiva (km)	Factor de seguridad		Condición
		Estático (α=0)	Pseudoestático (α=0.17g)	
1	0 + 450	1.57	1.12	Estable
2	1 + 300	1.55	1.14	Estable
3	1 + 700	1.44	1.03	Inestable
4	1 + 900	1.57	1.14	Estable
5	2 + 400	1.89	1.40	Estable
6	2 + 800	1.24	0.88	Inestable
7	2 + 950	1.78	1.21	Estable
8	3 + 350	1.99	1.47	Estable

Fuente: Elaboración Propia.

4.2. Discusión

Conforme el análisis realizado en el apartado anterior se pudo verificar que a dichas condiciones el depósito de desmontes, no cumple con los valores del factor de seguridad mínimos tanto para el análisis estático como para el pseudo-estático, establecidos en 1.5 y 1.1 respectivamente, según se detalla en la Tabla 17, por lo cual es necesario implementar medidas correctivas que nos aseguren la estabilidad de los taludes analizados y a la vez del botadero, esto a su vez corrobora lo señalado en la tesis titulada ANÁLISIS DE LA ESTABILIDAD FÍSICA DEL DEPÓSITO DE RELAVES N° 5 DE LA CONCESIÓN DE BENEFICIO BELÉN DE MINERA TITÁN DEL PERÚ S.R.L. del autor AGUIRRE R. Roberto, la cual en su análisis de estabilidad de taludes señala que la sección analizada posee un factor de seguridad de 1.359 para condiciones estáticas, siendo así un talud inestable debido a que el valor mínimo considerado para ese proyecto en condiciones estáticas es de 1.4, para lo cual se procede a la reconfiguración del talud y a otras medidas correctivas necesarias.

Las medidas a tomar para este trabajo de investigación serán detalladas en el siguiente apartado.

4.2.1. Medidas de Estabilidad – Propuestas de mejora

Para poder asegurar la estabilidad física del depósito de desmontes y teniendo en cuenta el posterior cierre y remediación del mismo, será necesario la implementación de medidas que ayuden a eliminar y/o disminuir todas las condiciones desfavorables presentes en los taludes,

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

siendo el principal problema el dimensionamiento y geometría de estos, para lo cual se recomienda el tendido del talud y el desarrollo de bancos según la Tabla 18, ya que esto permitiría la uniformidad y seguridad del talud para las actividades posteriores de cierre, al reducir el ángulo de talud y conformar bancos que pueden detener cualquier pequeño deslizamiento o desprendimiento de rocas; por lo tanto esta propuesta aplicara a todas las secciones del caso de estudio.

A continuación se pueden observar las características del diseño propuesto para todas las secciones analizadas del depósito:

Tabla 18
Diseño propuesto para la estabilidad de taludes.

Sección	Tramo analizado	Progresiva (km)	Medida
1	0+250 - 0+600	0 + 450	Talud interbancos de 2:1 (H:V) Altura 1er interbanco= 10m Ancho 1er banco= 5m Altura 2do interbanco= 20m Ancho 2do banco= 5m Altura 3er interbanco= 20m Ancho 3er banco= 5m
2	0+700 - 1+300	1 + 300	Talud interbancos de 2:1 (H:V) Altura 1er interbanco= 20m Ancho 1er banco= 5m Altura 2do interbanco= 20m Ancho 2do banco= 5m
3	1+400 - 1+800	1 + 700	Talud interbancos de 2:1 (H:V) Altura 1er interbanco= 20m Ancho 1er banco= 5m Altura 2do interbanco= 20m Ancho 2do banco= 5m

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

4	1+800 - 2+100	1 + 900	Talud interbancos de 2:1 (H:V) Altura 1er interbanco= 20m Ancho 1er banco= 5m Altura 2do interbanco= 20m Ancho 2do banco= 5m
5	2+200 - 2+600	2 + 400	Talud interbancos de 2:1 (H:V) Altura interbanco= 20m Ancho banco= 5m
6	2+700 - 2+850	2 + 800	Talud interbancos de 2:1 (H:V) Altura 1er interbanco= 20m Ancho 1er banco= 5m Altura 2do interbanco= 20m Ancho 2do banco= 5m
7	2+900 - 3+100	2 + 950	Talud interbancos de 2:1 (H:V) Altura 1er interbanco= 20m Ancho 1er banco= 5m Altura 2do interbanco= 20m Ancho 2do banco= 5m
8	3+200 - 3+800	3 + 350	Talud interbancos de 2:1 (H:V) Altura interbanco= 20m Ancho banco= 5m

Fuente: Elaboración Propia.

Considerando el diseño de talud propuesto para las secciones del botadero y comparando este con el diseño original de los mismos, tendremos como resultado lo siguiente (Ver figuras 12 a 19):

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

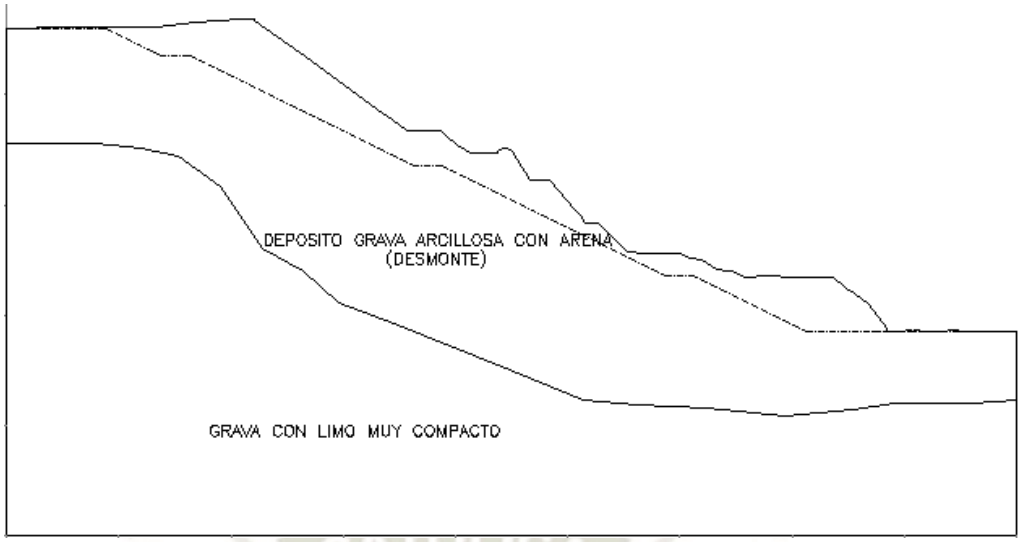


Figura 12: Comparación de taludes de la Sección 1. Elaboración Propia.

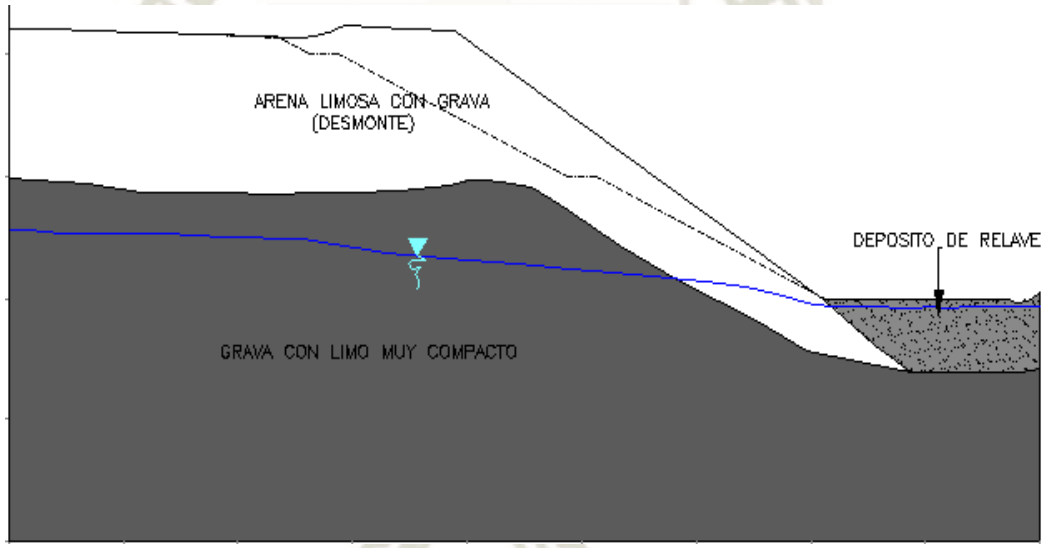


Figura 13: Comparación de taludes de la Sección 2. Elaboración Propia.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

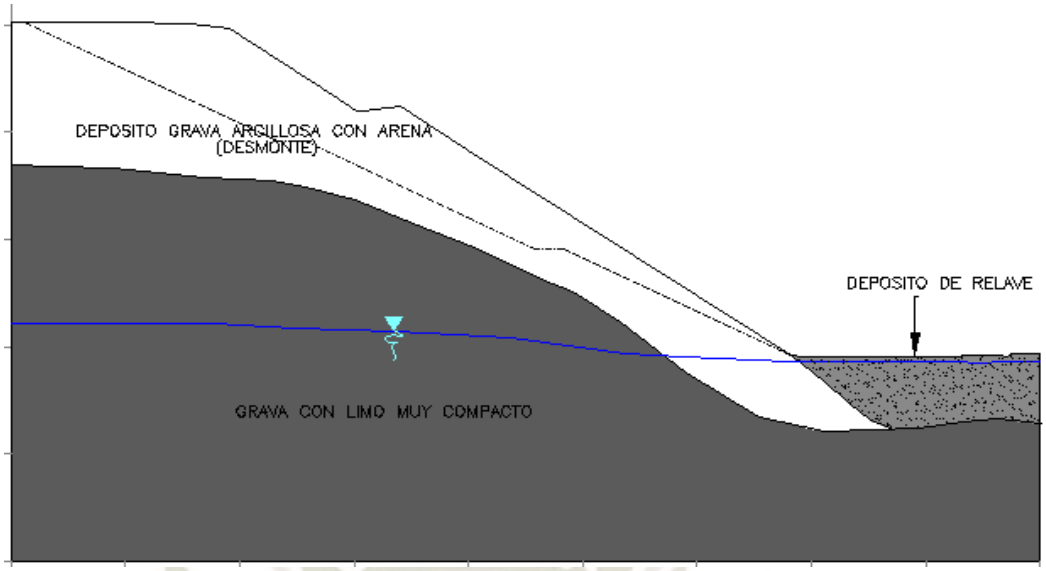


Figura 14: Comparación de taludes de la Sección 3. Elaboración Propia.

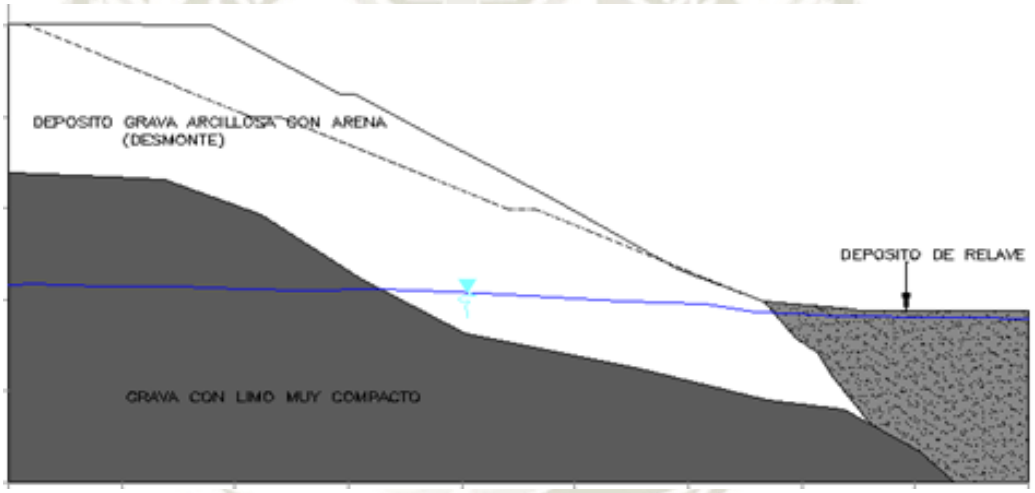


Figura 15: Comparación de taludes de la Sección 4. Elaboración Propia.

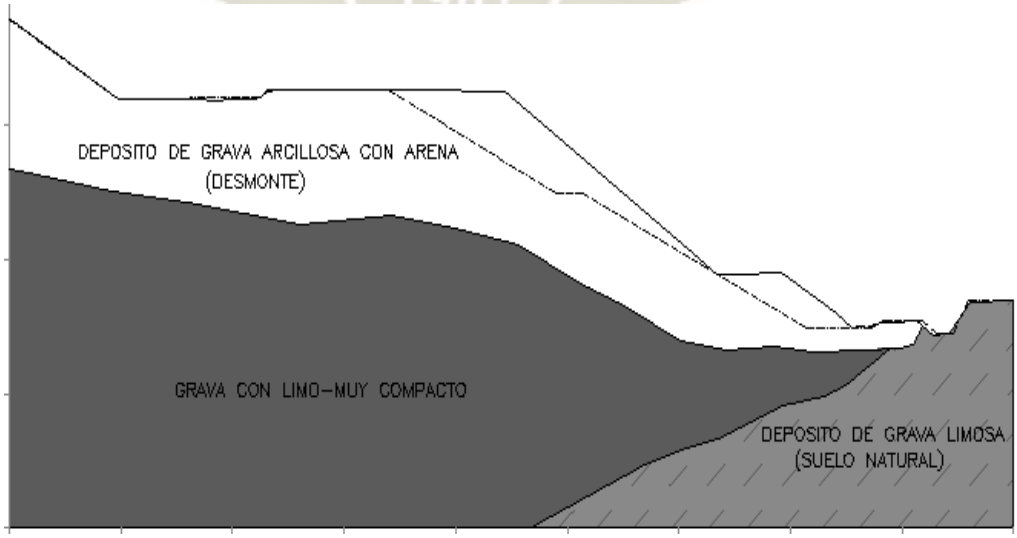


Figura 16: Comparación de taludes de la Sección 5. Elaboración Propia.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

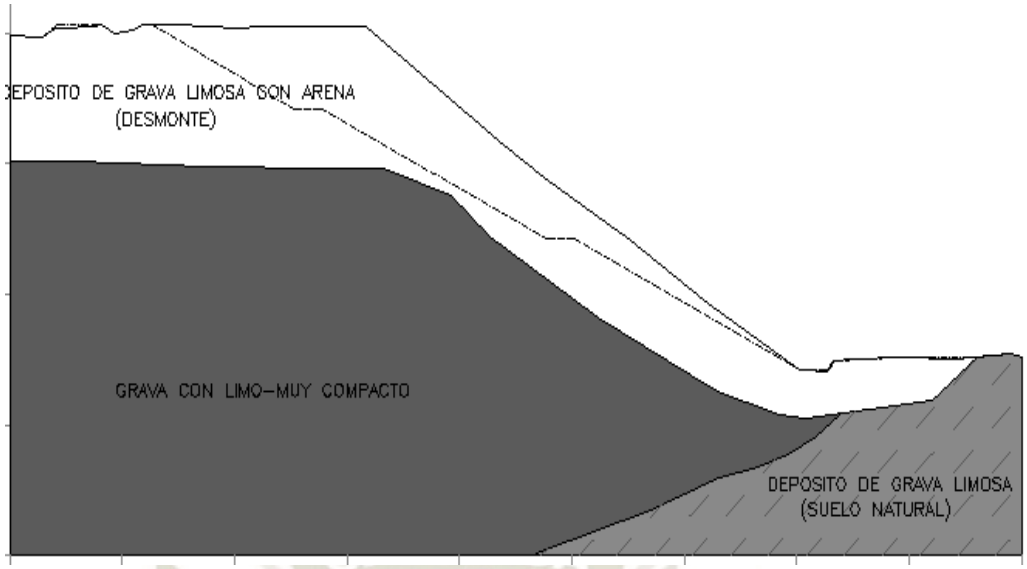


Figura 17: Comparación de taludes de la Sección 6. Elaboración Propia.

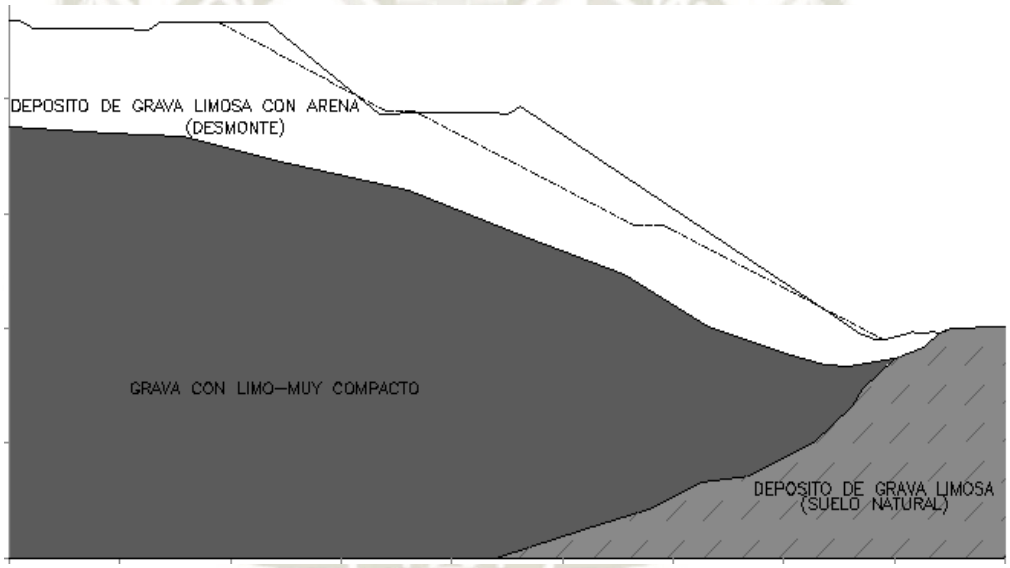


Figura 18: Comparación de taludes de la Sección 7. Elaboración Propia.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

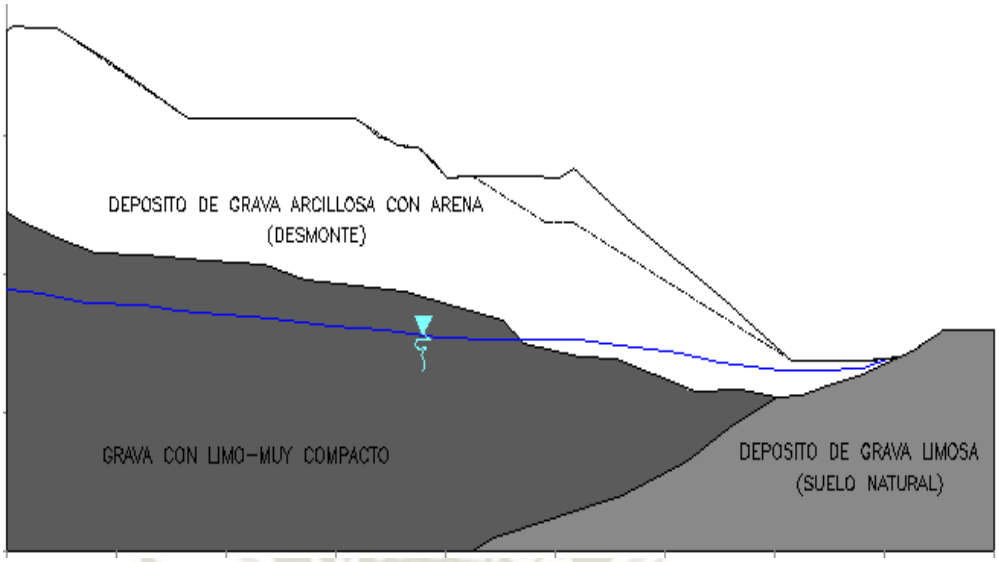


Figura 19: Comparación de taludes de la Sección 8. Elaboración Propia.

Finalmente los taludes de las ocho secciones representativas del depósito de desmontes se muestran a continuación, además de las caracteristicas descritas en la Tabla 18 podemos agregar las siguientes:

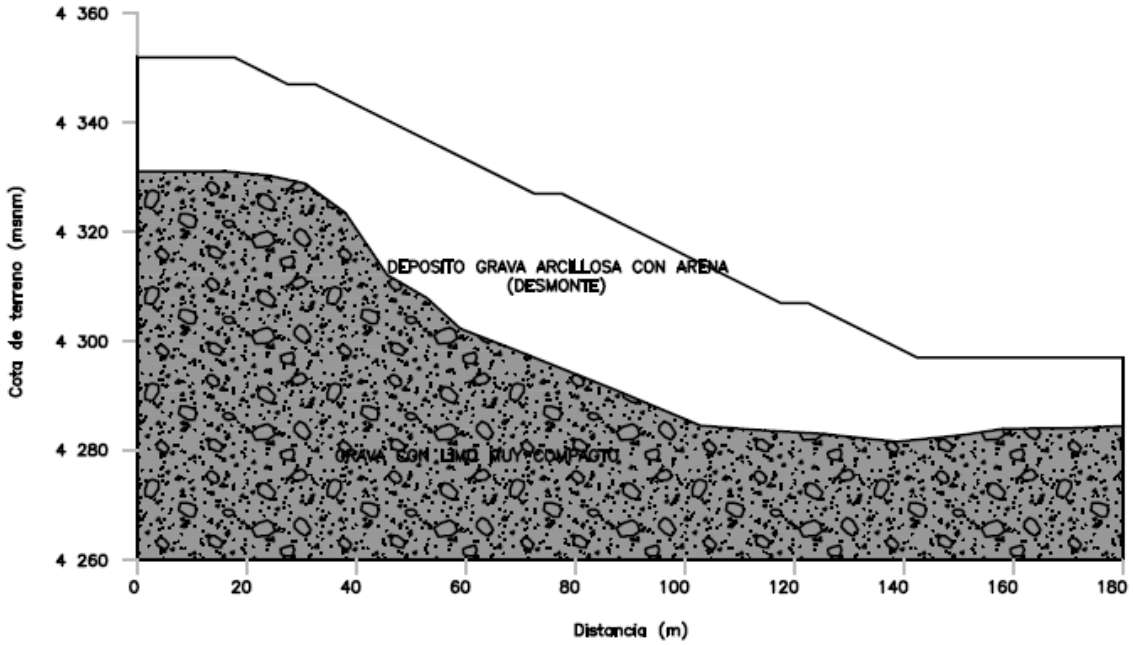


Figura 20: Talud final propuesto – Sección 1. Elaboración Propia.

Para el talud de la Sección 1 se tendría un largo total de 122 m y una altura de talud de 50 m, junto con un ángulo de banco de 26.6° y un ángulo global de talud de 24°.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

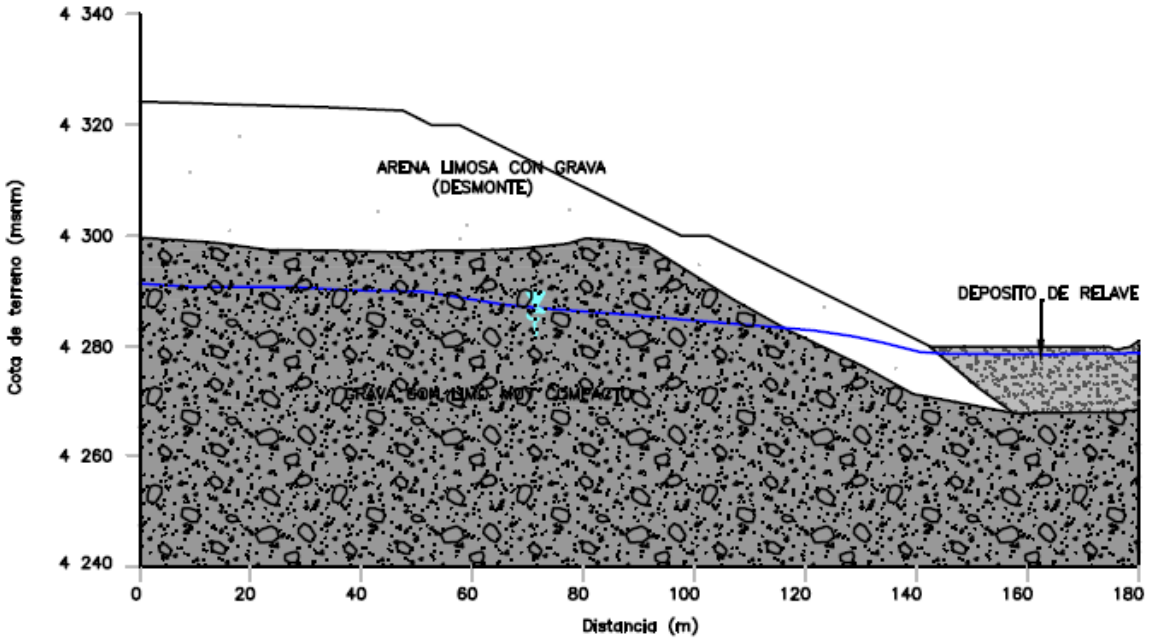


Figura 21: Talud final propuesto – Sección 2. Elaboración Propia.

Para el talud de la Sección 2 se tendría un largo total de 96 m y una altura de talud de 45 m, junto con un ángulo de banco de 26.6° y un ángulo global de talud de 24°.

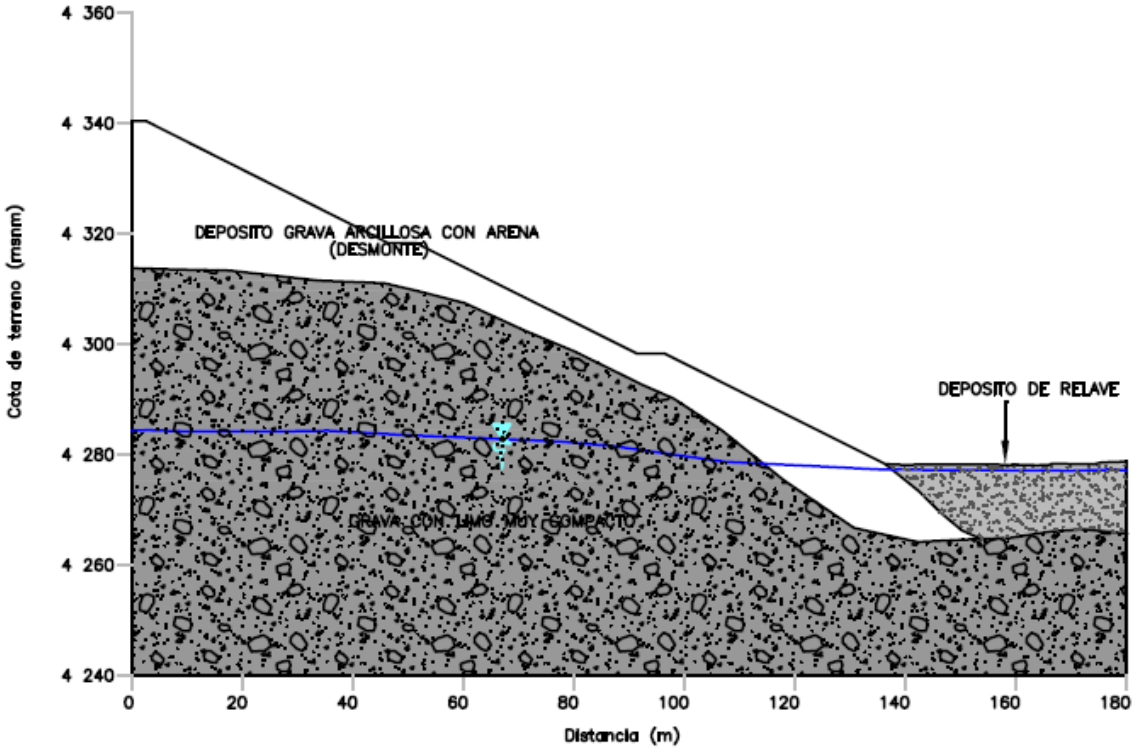


Figura 22: Talud final propuesto – Sección 3. Elaboración Propia.

Para el talud de la Sección 3 se tendría un largo total de 130 m y una altura de talud de 60 m, junto con un ángulo de banco de 26.6° y un ángulo global de talud de 25°.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

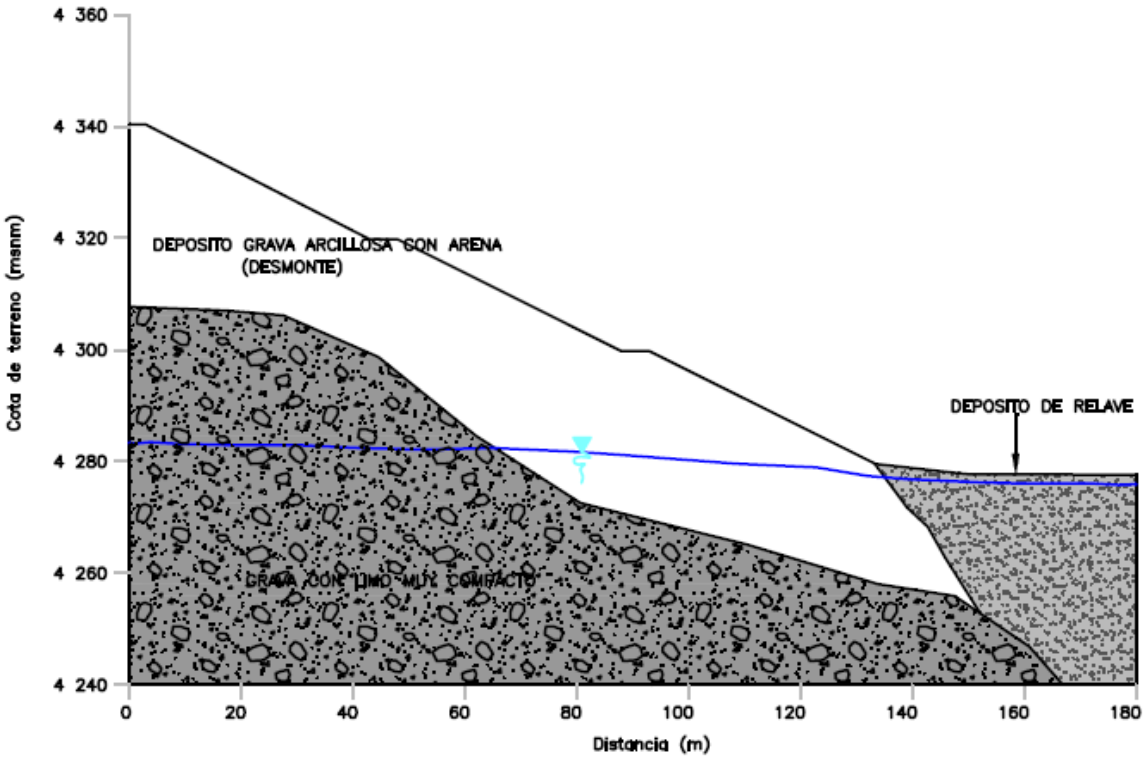


Figura 23: Talud final propuesto – Sección 4. Elaboración Propia.

Para el talud de la Sección 4 se tendría un largo total de 130 m y una altura de talud de 60 m, junto con un ángulo de banco de 26.6° y un ángulo global de talud de 25°.

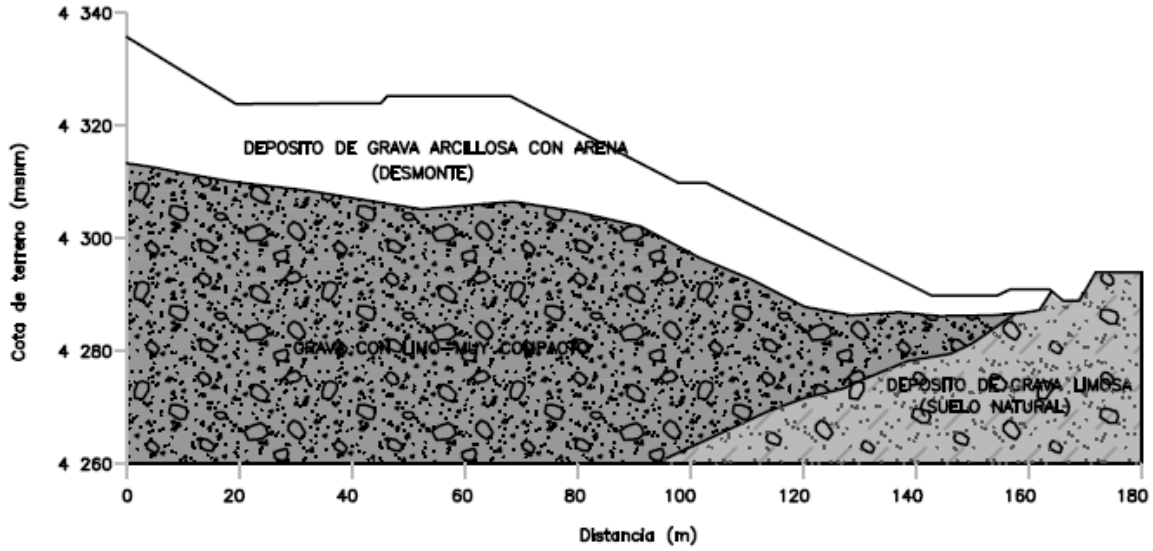


Figura 24: Talud final propuesto – Sección 5. Elaboración Propia.

Para el talud de la Sección 5 se tendría un largo total de 140 m y una altura de talud de 45 m, junto con un ángulo de banco de 26.6° y un ángulo global de talud de 18°.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

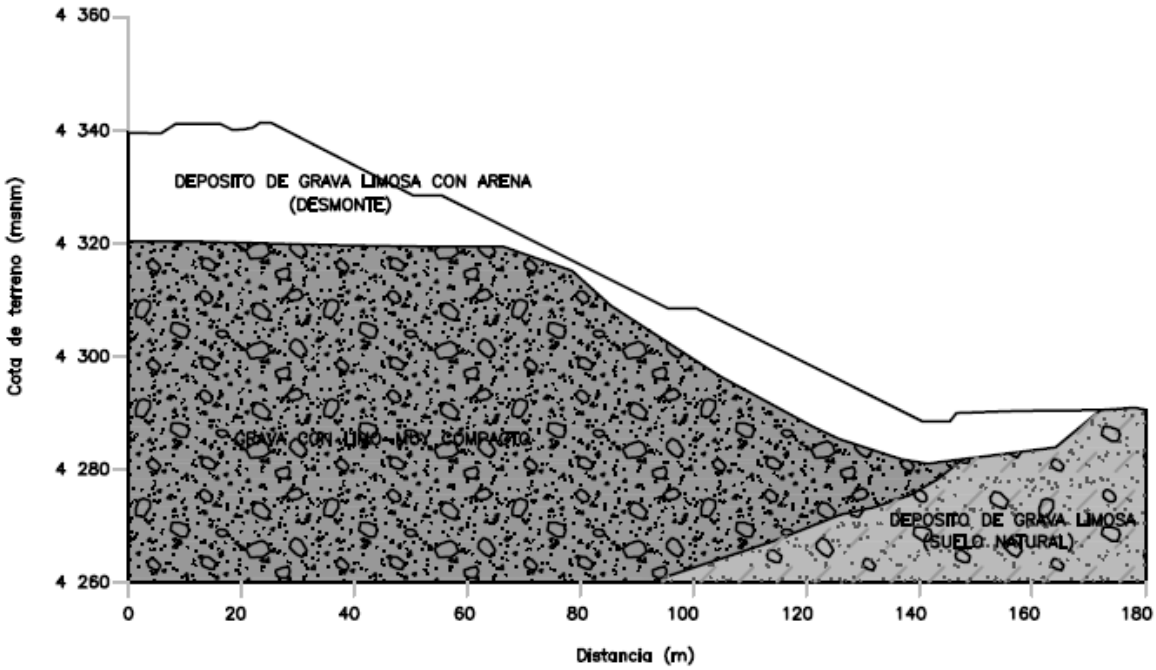


Figura 25: Talud final propuesto – Sección 6. Elaboración Propia.

Para el talud de la Sección 6 se tendría un largo total de 115 m y una altura de talud de 55 m, junto con un ángulo de banco de 26.6° y un ángulo global de talud de 25°.

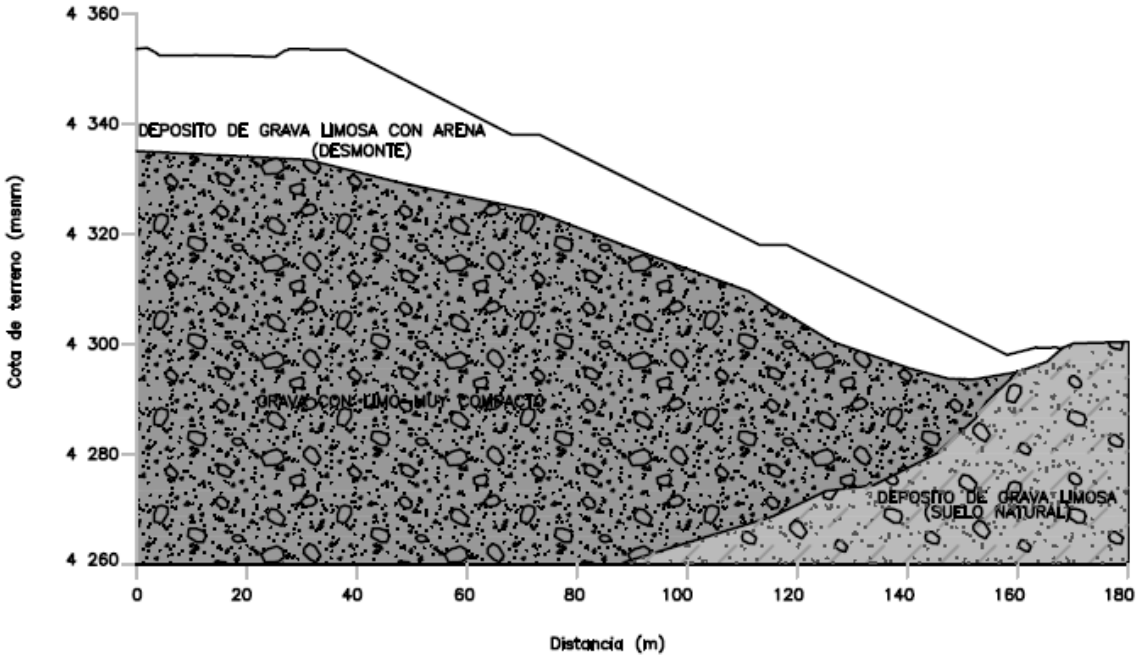


Figura 26: Talud final propuesto – Sección 7. Elaboración Propia.

Para el talud de la Sección 7 se tendría un largo total de 118 m y una altura de talud de 55 m, junto con un ángulo de banco de 26.6° y un ángulo global de talud de 25°.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

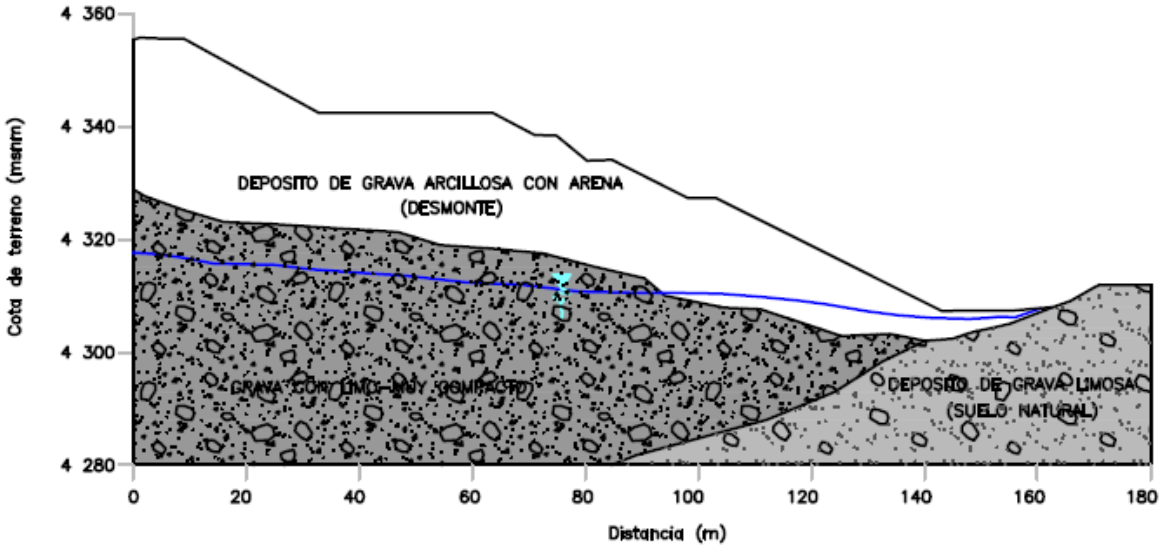


Figura 27: Talud final propuesto – Sección 8. Elaboración Propia.

Para el talud de la Sección 8 se tendría un largo total de 135 m y una altura de talud de 45 m, junto con un ángulo de banco de 26.6° y un ángulo global de talud de 20°.

En el Anexo 01 "Planos" - Planos 05 y 06 "Secciones Propuestas", se pueden apreciar los taludes propuestos, con las características de diseño propuestas, tipo de material que corresponde y nivel de agua.

4.2.2. Resultados de las secciones analizadas con el diseño propuesto

Se procedió a analizar la estabilidad física de las secciones del depósito con la nueva configuración aplicada (aplicando las medidas de diseño del punto 4.2.1 de la presente tesis), mediante el software Slide, la misma que va a asegurar la estabilidad de los taludes para el cierre y remediación del botadero y a su vez disminuirá el riesgo de deslizamientos. Los resultados de los factores de seguridad para las secciones de análisis tanto en condiciones estáticas como en pseudo-estáticas (0.17 g) se muestran en la Tabla 19 junto con la condición de los taludes al comparar el factor de seguridad resultante del análisis con el recomendado (1.5 y 1.1):

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Tabla 19
Resultados del análisis de estabilidad de taludes con el diseño propuesto.

Sección de Análisis	Progresiva (km)	Factor de seguridad		Condición
		Estático (α=0)	Pseudoestático (α=0.17g)	
1	0 + 450	1.853	1.262	Estable
2	1 + 300	2.121	1.425	Estable
3	1 + 700	1.965	1.36	Estable
4	1 + 900	2.039	1.378	Estable
5	2 + 400	2.45	1.674	Estable
6	2 + 800	1.626	1.11	Estable
7	2 + 950	1.626	1.11	Estable
8	3 + 350	2.519	1.674	Estable

Fuente: Elaboración Propia.

De la tabla anterior se puede observar que para el diseño propuesto, se obtuvieron valores del factor de seguridad por encima del mínimo requerido tanto para condiciones estáticas y pseudo-estáticas lo cual se refleja en taludes de condición estable físicamente; resaltando las secciones 3 y 6 que fueron catalogadas como inestables en el análisis realizado en el punto 4.1.1 de la presente tesis.

En el Anexo 01 “Planos” - Plano 02 “Ubicación de las Secciones para Análisis de Estabilidad”, se detalla la ubicación de las secciones evaluadas.

Los resultados del análisis de estabilidad de taludes con el diseño propuesto se pueden encontrar en el Anexo 04 “Análisis de estabilidad de taludes – SLIDE” página 19, con su correspondiente sección de análisis, factor de seguridad y superficie de falla crítica.

4.3. Movimiento de Tierras

De acuerdo a las modificaciones realizadas a los perfiles de los taludes de las secciones de análisis descritas anteriormente en el presente trabajo de investigación, se realizó un cálculo aproximado del movimiento de tierras a realizar. En el caso de estudio presente se realizaron las actividades denominadas corte, que es el carguío y transporte del material sobrante entre el talud actual y el talud propuesto.

Este material “sobrante” se trasladará al centro del depósito de desmontes, ya que servirá para el desarrollo de las actividades posteriores de cierre y para una mejor distribución del mismo. A continuación en la Tabla 20 se muestran las áreas, volumen y tonelaje aproximado

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

de las secciones de análisis proyectadas hacia la próxima progresiva, es decir, un volumen aproximado a todo el contorno del talud:

Tabla 20
Volumen y tonelaje a mover por sección

Secciones	Densidad (gr/cm^3)	Área (m^2)	Longitud (m)	Volumen a mover (m^3)	Toneladas a mover (m3)
1	2.49	872.465	850	741595.17	1846571.96
2	2.51	635.451	400	254180.44	637992.90
3	2.20	1187.189	200	237437.86	522363.29
4	2.14	939.207	500	469603.40	1004951.28
5	2.55	367.683	400	147073.04	375036.25
6	2.00	894.131	150	134119.67	268239.33
7	2.00	512.927	400	205170.84	410341.68
8	2.22	236.335	926	218846.02	486275.87

Fuente: Elaboración Propia

Como resultado de este cálculo, obtendremos un volumen total a mover de 2 408 026.43 m^3 de material. Una vez alcanzado esto, se procedió al cálculo aproximado de equipos a utilizar para el carguío y acarreo del material para una duración de proyecto de 9 meses (270 días).

Para la realización de estos cálculos se tomaron en cuenta dos equipos: Excavadora Komatsu PC 300 LC-8, con una capacidad de scoop de 2.22 m^3 y un precio de alquiler de S/ 281.00 por hora de trabajo; Volquete Volvo FMX, con una capacidad de 15 m^3 en la tolva y un precio de alquiler de S/145.00 por hora. Los precios de alquiler se basan en una cotización realizada en la ciudad de Cerro de Pasco.

4.3.1. Cálculo de tiempos

Para la realización del cálculo de tiempos del ciclo de acarreo se tuvieron en cuenta los siguientes datos y resultados (Ver Tabla 21):

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Tabla 21
Dato general Volquetes

Dato	Valores
Velocidad Cargado	10 Km/hr
Velocidad Descargado	20 Km/hr
Tiempo de viaje cargado (Tc)	3 min
Tiempo de viaje descargado(Td)	1.5 min
Volumen de tolva	15 m^3
Distancia de transporte	0.5 Km

Fuente: Elaboración Propia

4.3.2. Cálculo de equipos

Por métodos prácticos, considerando el terreno resbaloso en temporada de lluvias y las pendientes en el depósito de desmontes, se aproximaron los tiempos de viaje Tc y Td a 6 minutos y 3 minutos respectivamente.

Con estos datos y los descritos en el punto anterior se procedió a un cálculo de rendimientos mostrados a continuación en la Tabla 22:

Tabla 22
Cálculo de Rendimientos

Dato	Valores
Capacidad de scoop (Excavadora)	2.22 m^3
Tiempo Útil (90% de la jornada de 12 horas)	10.8 horas (648 min)
Al suponer que el volquete se llena con 6 "pasadas" de la excavadora:	
Tiempo de cuadrado y carga (Volquete)	3.5 min
Tiempo de cuadrado y descarga (Volquete)	2.5 min
Tiempo de Ciclo	15 min
Volumen transportado x día x volquete 15 m^3 x 648 min / 15 min	650 m^3

Fuente: Elaboración Propia

A continuación y con los datos ya obtenidos se procedió al cálculo de una flota aproximada para la operación por 01 día de trabajo, siendo la fórmula aplicada la siguiente:

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

$$\#de\ Volquetes: \frac{Tiempo\ de\ Ciclo}{Tiempo\ de\ cuadrado\ y\ carga} \quad (9)$$

Obteniendo como resultado un total de 5 volquetes asignados a 1 excavadora, lo que equivaldría a un total de 3250 m^3 movidos por día por flota (1 flota = 1 excavadora + 5 volquetes).

Finalmente se realizó el cálculo de equipos a requerir para los 9 meses de trabajo, es decir, en este lapso de tiempo se moverán 877 500 m^3 con una sola flota de trabajo, para lo cual se dividió el volumen total a mover de los taludes del depósito de desmontes señalado en el párrafo continuo a la Tabla 19 (2 408 026 m^3) con los 877 500 m^3 movidos por flota en los 9 meses de trabajo. Se obtuvo como resultado un total de 3 flotas necesarias, es decir, 3 excavadoras y 15 volquetes.

Una vez obtenido el número total de equipos a utilizar y el tiempo que se utilizarán, se aproximó un costo de los mismos (Ver Tabla 23):

Tabla 23
Costos aproximados

Equipo	Cantidad	Precio (S/ x hr)	Total de horas de trabajo en (9 meses)	Costo (Soles)
Volquete	15	145.00	2916	6342300
Excavadora	3	281.00	2916	2458188
			Total	S/8,800,488.00

Fuente: Elaboración Propia

Como resultado se obtuvo un total de S/ 8 800 488 como costo de equipos para la realización del corte y modificación de los taludes, con lo cual es posible encontrar el precio unitario para la operación con una simple división, la cual consta de dividir el costo final con el volumen de material a mover (8 800 488 Soles / 2 408 026 m^3) dando como resultado un costo unitario de 3.65 Soles/m^3 movido (1.08 \$/m^3 movido), también es posible realizarlo en función de las horas a trabajar (8 800 488 Soles/ 2916 horas) obteniendo así 3018 Soles/hora (903 \$/hora).

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

CONCLUSIONES

Las conclusiones relacionadas con el análisis de estabilidad física del depósito de desmontes se presentan a continuación:

- Al evaluar y modificar los parámetros de diseño de los taludes del depósito de desmontes se logró la estabilidad física de estos, obteniendo un factor de seguridad superior al mínimo recomendado, lo cual disminuirá el riesgo de deslizamientos y los mantendrá estables para el posterior cierre y remediación del mismo.
- Se obtuvieron a partir de los ensayos de campo y los ensayos de laboratorio realizados, las propiedades geotécnicas de los distintos materiales que conforman el depósito de desmontes. Estas se presentan en la tabla a continuación para cada una de las secciones de análisis dispuestas transversalmente al botadero:
    a) Sección 1: compuesta por grava arcillosa con arena / grava con limo, tiene un peso unitario de 24.42 kN/m^3, una cohesión de 29.42 / 49.03 kPa y un ángulo de fricción de 32° / 34°.
    b) Sección 2: compuesta por arena limosa con grava / grava con limo, tiene un peso unitario de 24.61 kN/m^3, una cohesión de 28.44 / 19.61 kPa y un ángulo de friccion de 36° / 38°.
    c) Sección 3: compuesta por grava arcillosa / grava con limo, tiene un peso unitario de 21.57 kN/m^3, una cohesión de 3.92 / 19.61 kPa y un ángulo de fricción de 40.9° / 41°.
    d) Sección 4: compuesta por grava arcillosa / grava con limo, tiene un peso unitario de 20.99 / 22.56 kN/m^3, una cohesión de 33.34 / 19.61 kPa y un ángulo de fricción de 34.6° / 36°.
    e) Sección 5: compuesta por grava arcillosa / grava con limo / grava arcillosa (natural), tiene un peso unitario de 25 / 25 / 19.61 kN/m^3, una cohesión de 34.32 / 19.61 / 14.71 kPa y un ángulo de fricción de 38.8° / 40° / 29.5°.
    f) Sección 6: compuesta por grava limosa / grava con limo / grava limosa (natural), tiene un peso unitario de 19.61 / 21.57 / 20.59 kN/m^3, una cohesión de 39.1 / 41 / 42.7 kPa y un ángulo de fricción de 0° / 19.61° / 27.46°
    g) Sección 7: compuesta por grava limosa / grava con limo / grava limosa (natural), tiene un peso unitario de 19.61 / 21.57 / 20.59 kN/m^3, una cohesión de 39.1 / 41 / 42.7 kPa y un ángulo de fricción de 0° / 19.61° / 27.46°.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

h) Sección 8: compuesta por grava arcillosa / grava con limo (muy compacta) / grava con limo, tiene un peso unitario de 21.77 / 22.56 / 18.63 kN/m^3, una cohesión de 38.8 / 40 / 27 kPa y un ángulo de fricción de 32.36° / 19.61° / 27.46°.

- Según los parámetros de entrada para el análisis de estabilidad física, se obtuvieron dos secciones críticas (Secciones 3 y 6) propensas a generar un deslizamiento (inestables), las cuales presentaban un factor de seguridad inferior al mínimo recomendado para condiciones estáticas y sísmicas (Secc. 3= 1.44 y Secc. 6= 1.24); sin embargo adoptando la nueva configuración propuesta, los factores de seguridad resultantes del análisis de estabilidad fueron: para la Sección 3 de 1.965 para condición estática y 1.36 para condición sísmica; y para la Sección 6 de 1.626 para condición estática y 1.11 para condición sísmica; considerando un coeficiente sísmico de 0.17 g, utilizando el método simplificado de Bishop mediante el software SLIDE, dichos valores son superiores al mínimo requerido por lo que la estabilidad física de estos taludes está asegurada.
- La estabilidad física del depósito de desmontes está asegurada siempre y cuando se respeten las consideraciones descritas a continuación. Es decir la reconfiguración de los taludes mediante el tendido de los mismos, reduciendo el ángulo y conformando bermas o bancos a lo largo del talud total del depósito, para que estos atrapen los posibles desprendimientos. Se pudo comprobar, mediante el método simplificado de Bishop con la ayuda del software SLIDE, que con estos nuevos cambios en el diseño original de los taludes del depósito obtendremos valores de los factores de seguridad superiores al mínimo recomendado, tanto para condiciones estáticas y sísmicas. A su vez prepararemos el botadero para las actividades posteriores de cierre y remediación:
  a) La relación de los taludes interbancos será de 2:1 (H:V) lo que nos dará como resultado un ángulo de 26° aproximadamente, este logrará la estabilidad y prepara los taludes para las capas de top soil y demás materiales para el proceso de cierre y remediación.
  b) El ancho de los bancos a manejar en los taludes del depósito serán de 5 m.
  c) Las alturas interbancos de los taludes variaran entre 10 m y 20m en todo el depósito.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

d) Las medidas se aplicarán no solo en las dos secciones críticas resultantes del análisis de estabilidad, sino también en todo el depósito de desmontes, ya que esta medida servirá de preparativo para todas las actividades de cierre y remediación del mismo; por ejemplo para la aplicación de la capa de arena que posee un ángulo de reposo natural de 26°.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

RECOMENDACIONES

Las siguientes recomendaciones son las principales a ser consideradas a partir de los estudios realizados y resultados obtenidos en el presente trabajo de investigación:

- Establecer un programa de monitoreo geotécnico y sísmico que sea continuo y permanente. Esto referente a los posibles eventos de deslizamientos, así cualquier lectura de la instrumentación geotécnica que represente un indicador anormal, será reportada para tomar medidas correctivas; previniendo así deslizamientos y colapsos de estructuras frente a las fallas potenciales originadas por la acción dinámica de fenómenos externos al depósito.
- El monitoreo debe de incluir la instalación de piezómetros para verificar las condiciones de la estructura en lo que se refiere a la presencia de agua, ya que en la zona de estudio hay temporadas de fuerte precipitación pluvial lo cual actúa como un fenómeno externo al depósito, el cual puede generar problemas en la estabilidad de los taludes. En otras palabras, los piezómetros a instalar deben ser revisados periódicamente a fin de verificar estos posibles percances.
- Se recomienda realizar una buena combinación del material que irá en el depósito de desmontes durante la vida operativa de la mina. De esta manera al intercalar material grueso y fino, se generará una buena compactación del mismo y dará lugar a una mejor distribución del ángulo de reposo natural del material, teniendo de esta manera una mayor estabilidad física previa a las actividades de cierre y remediación. Esto permitirá que el trabajo en cuanto a geotecnia y rediseño de los taludes sea más sencillo y controlado al no existir o tener las mínimas probabilidades de deslizamiento debido al alto factor de seguridad presente.
- Verificar los parámetros geotécnicos del depósito de desmontes a través de ensayos en campo y ensayos de laboratorio durante la operación de la mina, con el fin de evitar y prevenir variaciones de los desmontes, típico de los materiales geológicos.
- El cambio en la geometría y diseño de los taludes del botadero deberá apegarse a lo propuesto en el presente trabajo de investigación. En este sentido también se debe de tener en cuenta que el depósito requiere de un programa continuo de control topográfico para asegurar que se mantengan los niveles y taludes recomendados, evitando variaciones en su estructura que puedan interrumpir el proceso de cierre y remediación.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

APORTES DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

En el presente trabajo de investigación, se abordaron una serie de aspectos claves relacionados al rediseño de taludes de un depósito de desmontes mineros, prestando una mayor atención a la estabilidad física, el análisis de estabilidad física de los taludes servirá como base para los futuros trabajos del cierre y remediación del botadero u obras similares.

A continuación se detallan (divididas por capítulos) los aportes más relevantes realizados en este trabajo de investigación:

En el Capítulo II, el cual se centra en el marco teórico, como punto resaltante podemos considerar la recopilación de información base para el desarrollo de la toma de muestras en la zona de estudio, las bases teóricas de los ensayos de laboratorio a los cuales se sometieron las muestras tomadas para la obtención de los parámetros geotécnicos, el uso de la zonificación sísmica en el Perú para el análisis pseudo-estático de los taludes, los antecedentes presentes en distintas unidades mineras, el marco legal por el cual se rigen las actividades de cierre de minas y la mención de una guía para la estabilidad de taludes en depósitos de desechos mineros; todo lo mencionado es considerado un aporte ya que servirá como base para que se tomen como referencia en trabajos de investigación similares.

En el Capítulo III, se menciona la metodología aplicada para la obtención de los parámetros geotécnicos del material, los cuales a su vez servirán para ingresar al software SLIDE la información necesaria para el análisis de estabilidad.

Los anexos relacionados a este capítulo sirven como guía estandarizada en la recolección de muestras y ensayos de laboratorio ya que se encuentran sujetos a normativas (específicamente en su mayoría normas de la ASTM) resultando así una fuente confiable a seguir.

En el Capítulo IV, el uso del software SLIDE, es una herramienta eficiente debido a su especial desempeño en casos de análisis de estabilidad de taludes con superficies de falla circular y de material no consolidado (suelo) y a su vez este representa un ahorro en tiempo para los cálculos. El nuevo diseño propuesto en el presente trabajo de investigación, permite modelar un diferente diseño en futuros trabajos relacionados con la estabilidad de taludes.

Finalmente, el cálculo de costos de movimiento de tierras aportara costos unitarios, los cuales servirán como referencia o punto de análisis en investigaciones posteriores.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AGUIRRE, R. (2017). *Análisis de la estabilidad física del depósito de relaves n° 5 de la concesión de beneficio Belén de minera Titán del Perú S.R.L*. Arequipa, Perú.
- ALVA, J., INFANTES, M. (1999). D*iseño Sísmico de presas de tierra y enrocado*. Ponencia presentada al XII Congreso Nacional de Ingeniería Civil, Huánuco.
- CHAMBE, A. (2019). *Análisis comparativo de los métodos de cálculo en estabilidad de taludes para el caso del botadero de desmontes de la mina María Teresa.* Tacna, Perú.
- E. GOODMAN, R. (1989). *Introduction to Rock Mechanics*. Michigan, U.S.A.: Wiley.
- ESCOBAR, C., DUQUE, G. (2017). *Geotecnia para el trópico andino*. Manizales, Colombia.
- GONZALES DE VALLEJO, L. (2002). *Ingeniería Geológica*. Madrid, España: Pearson Educación.
- HOEK, E. (2006). *Practical Rock Engineering*. Vancouver, Canada.
- INSTITUTO NACIONAL DE VÍAS. (2007). Norma E-162. *Método del Balón de Caucho*. Bogotá, Colombia.
- MEYERHOF, G. G. (1970). *Safety factors in soil mechanics*. Canadian Geotechnical Journal, 7(4), 349–355. doi:10.1139/t70-047
- MINISTERIO DE ENERGÍA Y MINAS – DIRECCIÓN GENERAL DE ASUNTOS AMBIENTALES (1997). *Guía Ambiental para la Estabilidad de Taludes de Depósitos de Desechos Sólidos de Mina*. Lima, Perú.
- MINISTERIO DE ENERGÍA Y MINAS (2005). Decreto Supremo N° 059-2005-MEM. *Aprueban Reglamento de Pasivos Ambientales de la Actividad Minera y modificatorias.* Lima, Perú.
- MINISTERIO DE MINAS Y ENERGÍA. (2015). *Glosario Técnico Minero*. Colombia.
- MINISTERIO DE VIVIENDA, CONSTRUCCIÓN Y SANEAMIENTO (2018). Norma E.050. *Suelos y Cimentaciones.* Lima, Perú.
- PRASAD, K. (2006). *Slope Stability Evaluations by limit equilibrium and finite element methods*. NTNU, Norway.
- REAL ACADEMIA ESPAÑOLA. (2014). Diccionario de la lengua española (23.ª ed.).Madrid, España: Autor.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

- RODRÍGUEZ M., R., CUEVA T., E., & CARLOTTO C., V. (2011). Geología del Cuadrángulo de Cerro de Pasco. *Hoja 22-k*. Lima, Perú: INGEMMET.
- SIVAKUGAN, N. (2013). *Rock Mechanics an Introduction*. Florida, U.S.A.: CRC Press.
- SUAREZ, J. (2006). *Deslizamientos: Análisis Geotécnico*. Bucaramanga, Colombia.
- TERZAGUI, K. Y PECK, R. B. (1967). *Soil Mechanics in Engineering Practice*, Jhon Wiley, New York.
- U.S. ARMY CORPS OF ENGINEERS (2003). *Slope Stability*. Washington DC, U.S.A.
- U.S. DEPARTMENT OF TRANSPORTATION FEDERAL HIGHWAY ADMINISTRATION. (2011). *Seismic Analysis and Design of Transportation Geotechnical Features and Structural Foundations*. Washintong DC, U.S.A.
- VALIENTE, R., SOBRECASES, S., DIAZ, A. (2015). Estabilidad de Taludes: conceptos básicos, parámetros de diseño y métodos de cálculo. *Civilizate*, (7).
- ZAPANA, E. (2017). *Análisis de estabilidad del botadero Mariana Unidad Operativa Arcata*. Arequipa, Perú.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

ANEXOS

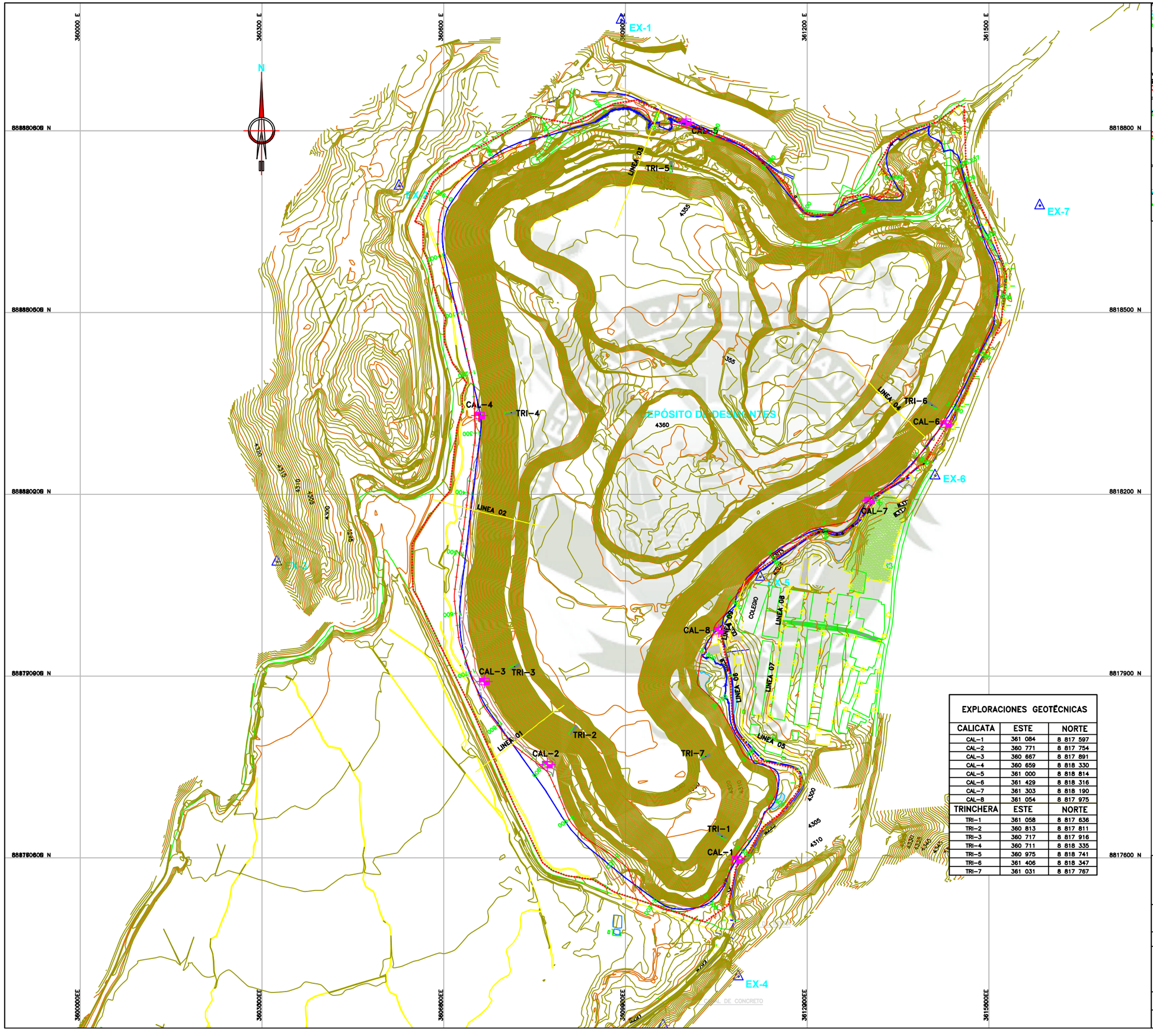
Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

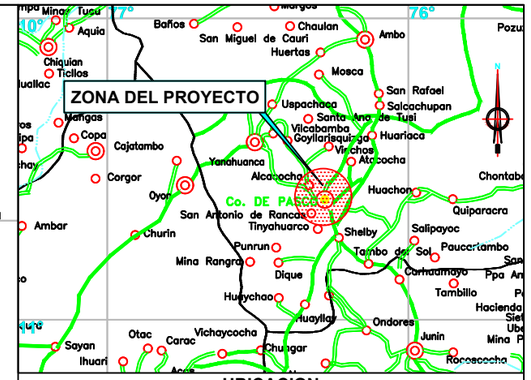
REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

ANEXO 01: PLANOS

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis





UBICACION

LEYENDA DE EXPLORACIONES	
CAL–1	CALICATA
TRI–1	TRINCHERA
LINEA 01	LINEA DE REFRACCION SISMICA

SIMBOLÓGIA	
4 305	CURVAS MAESTRAS
	CURVAS SECUNDARIAS
	CERCO DE ALAMBRE
	TUBERIAS
	JARDIN
	CASAS
	ROCAS
	ACCESOS
	EJE REFERENCIAL DE PIE DE TALUD

1:3000 0 60 120 180 240 300m

EXPLORACIONES GEOTÉCNICAS		
CALICATA	ESTE	NORTE
CAL–1	361 084	8 817 597
CAL–2	360 771	8 817 754
CAL–3	360 667	8 817 891
CAL–4	360 659	8 818 330
CAL–5	361 000	8 818 814
CAL–6	361 429	8 818 316
CAL–7	361 303	8 818 190
CAL–8	361 054	8 817 975
TRINCHERA	ESTE	NORTE
TRI–1	361 058	8 817 636
TRI–2	360 813	8 817 811
TRI–3	360 717	8 817 916
TRI–4	360 711	8 818 335
TRI–5	360 975	8 818 741
TRI–6	361 406	8 818 347
TRI–7	361 031	8 817 767

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

PROPUESTA DEL REDISEÑO DE TALUDES PARA LA ESTABILIDAD FÍSICA EN LA REMEDIACIÓN Y CIERRE DE UN DEPÓSITO DE DESMONTES EN CERRO DE PASCO

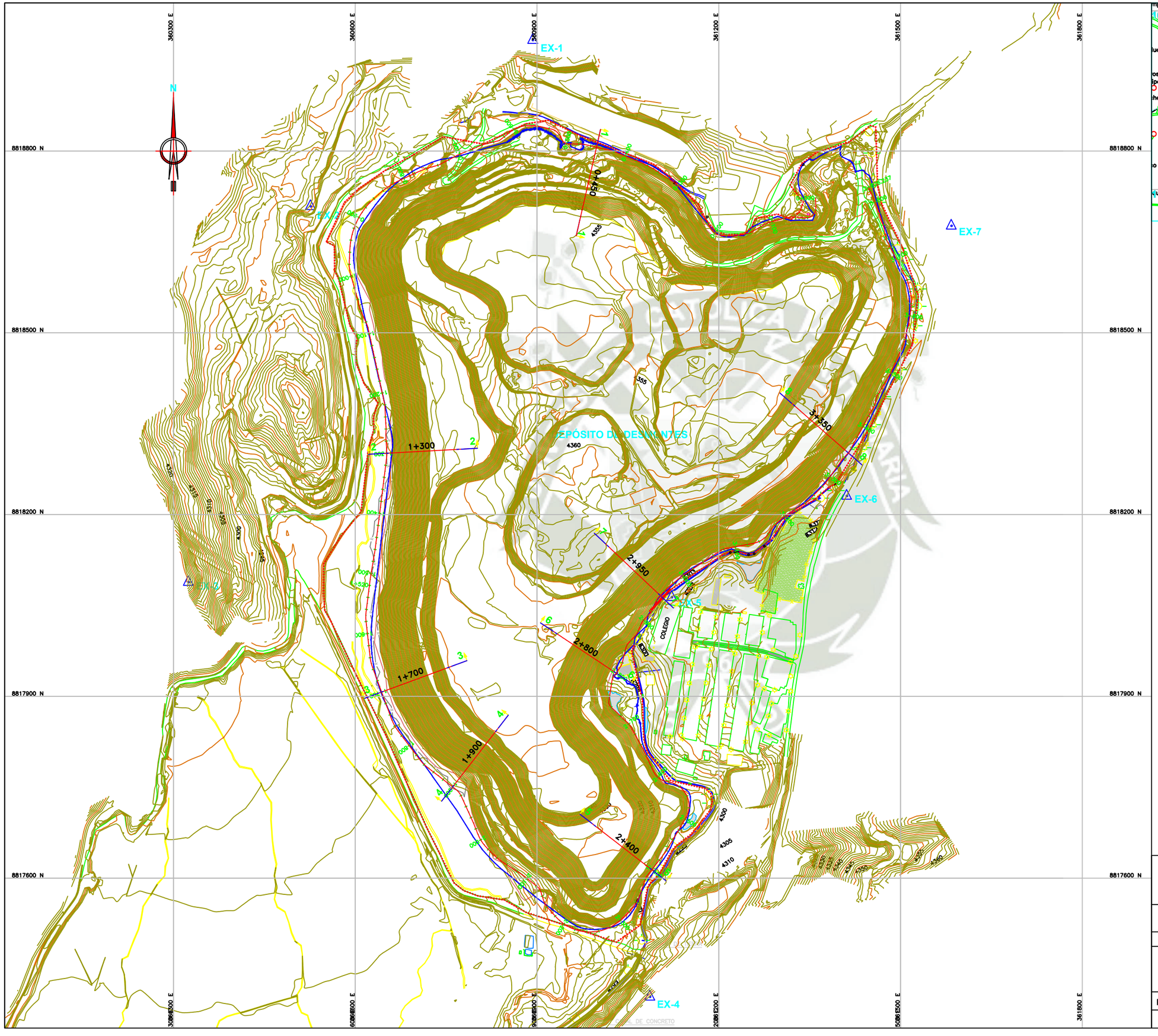
GEOTÉCNIA

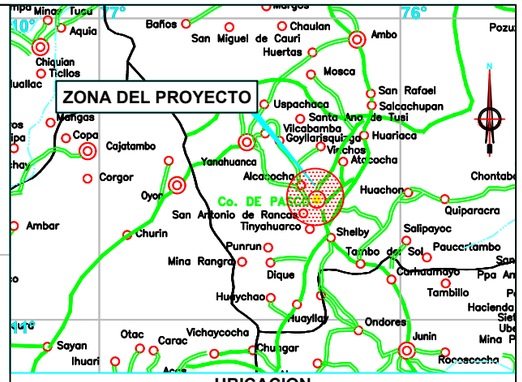
UBICACIÓN DE EXPLORACIONES GEOTÉCNICAS Y ENSAYOS DE REFRACCIÓN SÍSMICA

01

PRESENTADO POR:

VILLANUEVA ZAVALA FERNÁN DHAREI





UBICACION

SIMBOLOGIA	
4 305	CURVAS MAESTRAS
	CURVAS SECUNDARIAS
X—X—X—X	CERCO DE ALAMBRE
	TUBERIAS
	JARDIN
	CASAS
	ROCAS
	ACCESOS
1 1	EJE DE SECCIÓN
	EJE REFERENCIAL DE PIE DE TALUD

1:3000 0 60 120 180 240 300m

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

PROPUESTA DEL REDISEÑO DE TALUDES PARA LA ESTABILIDAD FÍSICA EN LA REMEDIACIÓN Y CIERRE DE UN DEPÓSITO DE DESMONTES EN CERRO DE PASCO

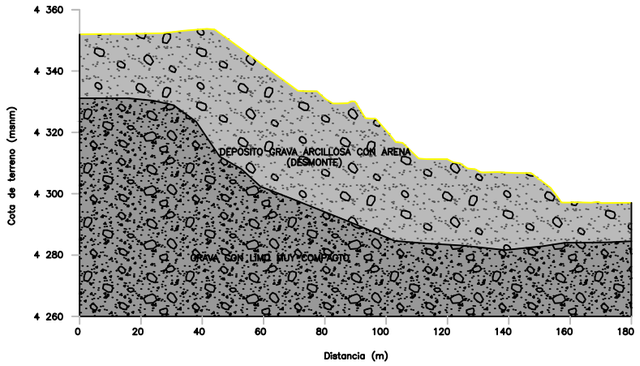
GEOTÉCNIA

UBICACIÓN DE SECCIONES PARA ANÁLISIS DE ESTABILIDAD

02

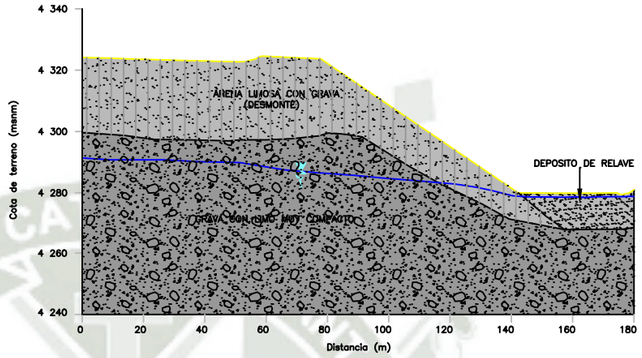
PRESENTADO POR:

VILLANUEVA ZAVALA FERNÁN DHAREI



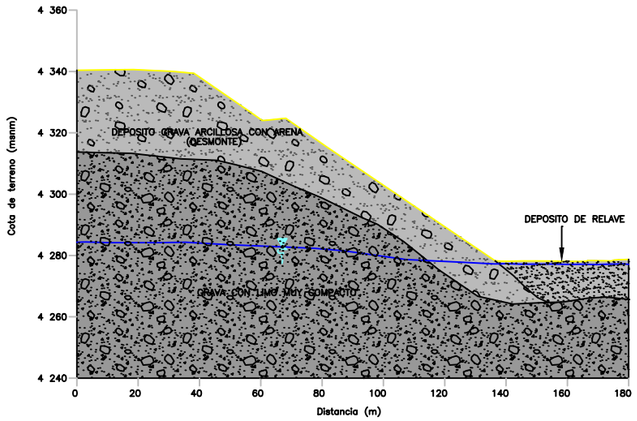
CORTE 1-1

PROGRESIVA: 0+450



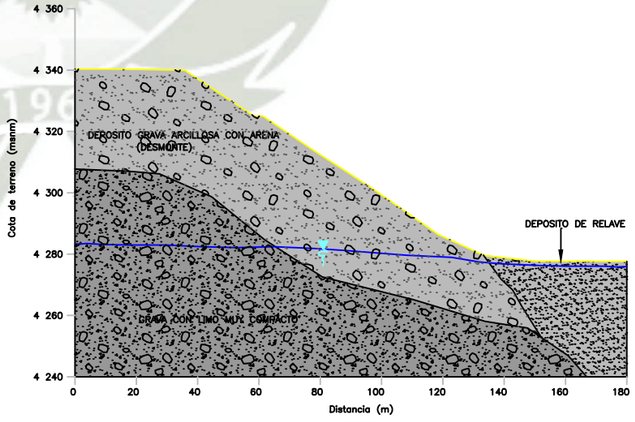
CORTE 2-2

PROGRESIVA: 1+300



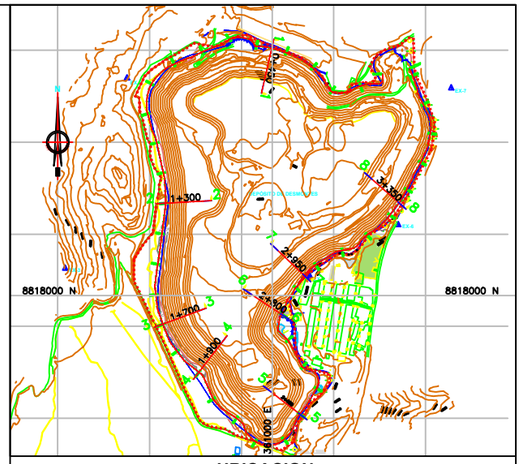
CORTE 3-3

PROGRESIVA: 1+700



CORTE 4-4

PROGRESIVA: 1+900



UBICACION

LEYENDA

- DEPOSITO DE RELAVE
- DEPOSITO GRAVA ARCILLOSA CON ARENA (DESMONTE)
- GRAVA CON LIMO – MUY COMPACTO
- ARENA LIMOSA CON GRAVA (DESMONTE)

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

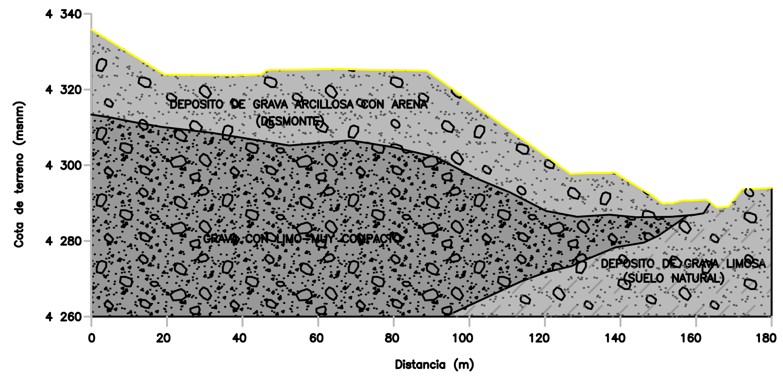
PROPUESTA DEL REDISEÑO DE TALUDES PARA LA ESTABILIDAD FÍSICA EN LA REMEDIACIÓN Y CIERRE DE UN DEPÓSITO DE DESMONTES EN CERRO DE PASCO

GEOTÉCNIA

SECCIONES DE ANÁLISIS CORTE 1 AL 4	03

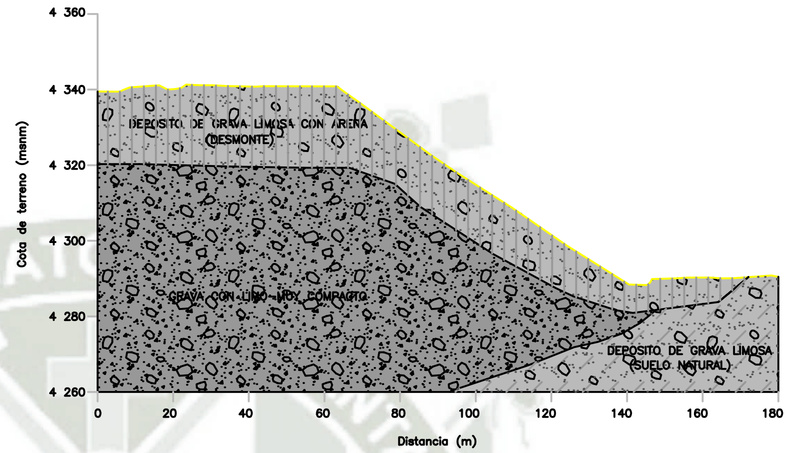
PRESENTADO POR:

VILLANUEVA ZAVALA FERNÁN DHAREI



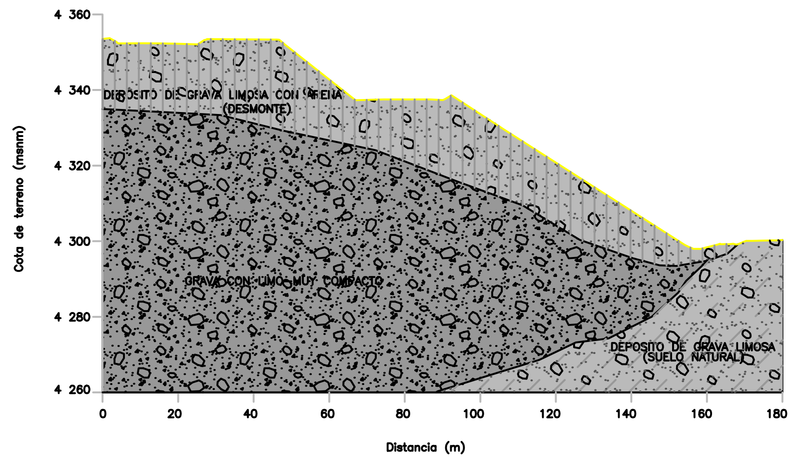
CORTE 5-5

PROGRESIVA: 2+400



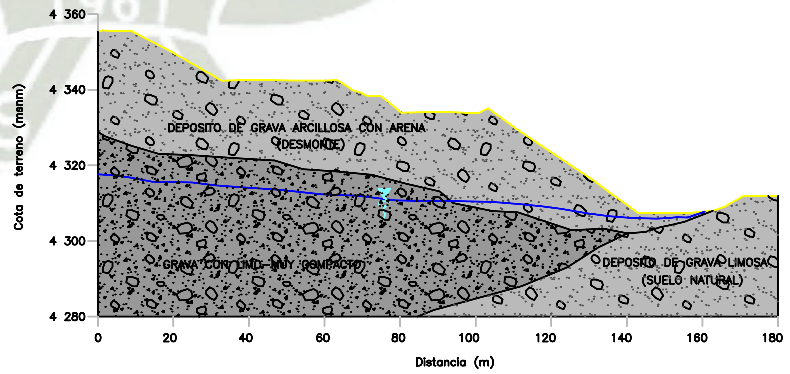
CORTE 6-6

PROGRESIVA: 2+800



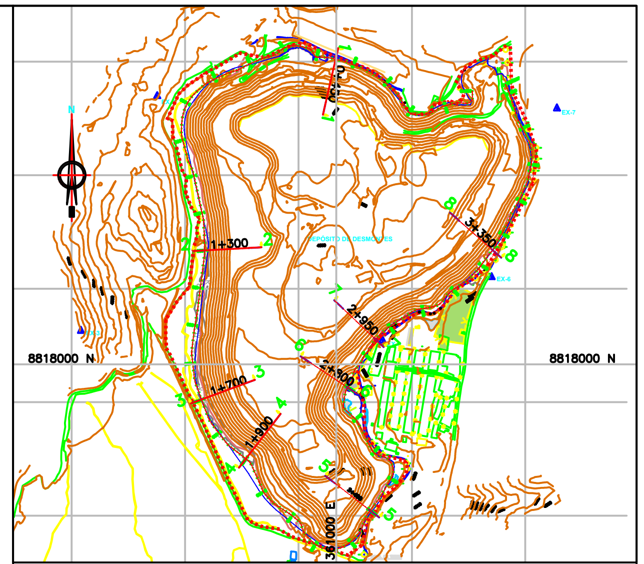
CORTE 7-7

PROGRESIVA: 2+950



CORTE 8-8

PROGRESIVA: 3+350



UBICACION

LEYENDA

- DEPOSITO DE GRAVA LIMOSA (SUELO NATURAL)
- DEPOSITO DE GRAVA ARCILLOSA CON ARENA (DESMONTE)
- GRAVA CON LIMO – MUY COMPACTO
- DEPOSITO DE GRAVA LIMOSA CON ARENA (DESMONTE)

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

PROPUESTA DE REDISEÑO DE TALUDES PARA LA ESTABILIDAD FÍSICA EN LA REMEDIACIÓN Y CIERRE DE UN DEPÓSITO DE DESMONTES EN CERRO DE PASCO

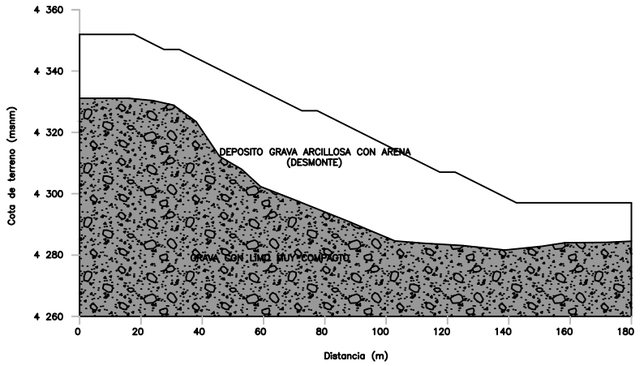
GEOTÉCNIA

SECCIONES DE ANÁLISIS
CORTE 5 AL 8

04

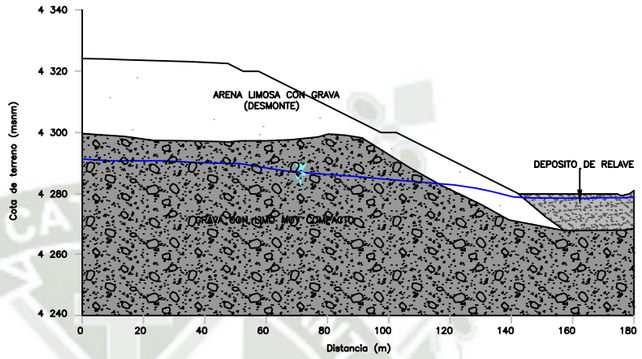
PRESENTADO POR:

VILLANUEVA ZAVALA FERNÁN DHAREI



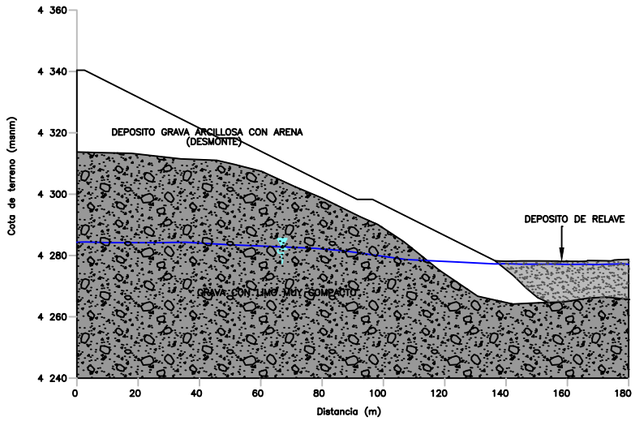
CORTE 1-1

PROGRESIVA: 0+450



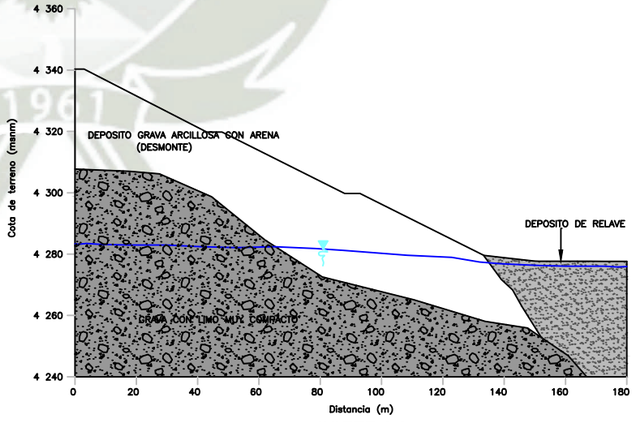
CORTE 2-2

PROGRESIVA: 1+300



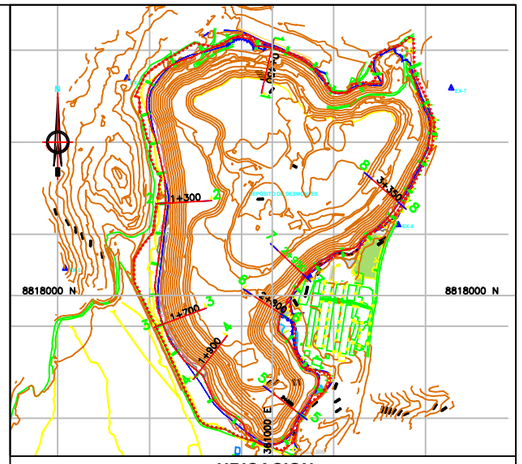
CORTE 3-3

PROGRESIVA: 1+700



CORTE 4-4

PROGRESIVA: 1+900



UBICACION

LEYENDA

- DEPOSITO DE RELAVE
- DEPOSITO GRAVA ARCILLOSA CON ARENA (DESMONTE)
- GRAVA CON LIMO – MUY COMPACTO
- ARENA LIMOSA CON GRAVA (DESMONTE)

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

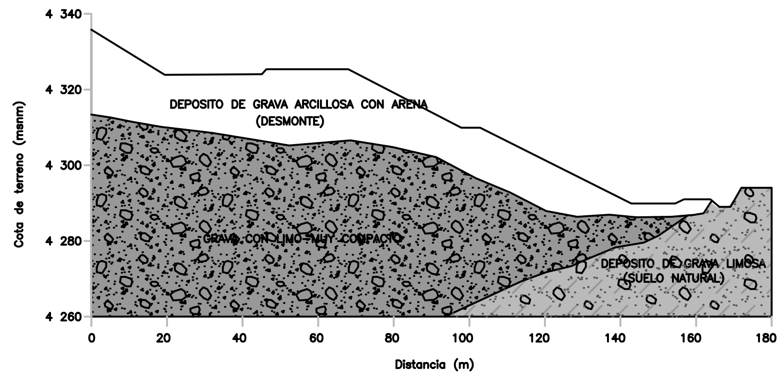
PROPUESTA DE REDISEÑO DE TALUDES PARA LA ESTABILIDAD FÍSICA EN LA REMEDIACIÓN Y CIERRE DE UN DEPÓSITO DE DESMONTES EN CERRO DE PASCO

GEOTÉCNIA

SECCIONES PROPUESTAS CORTE 1 AL 4	05

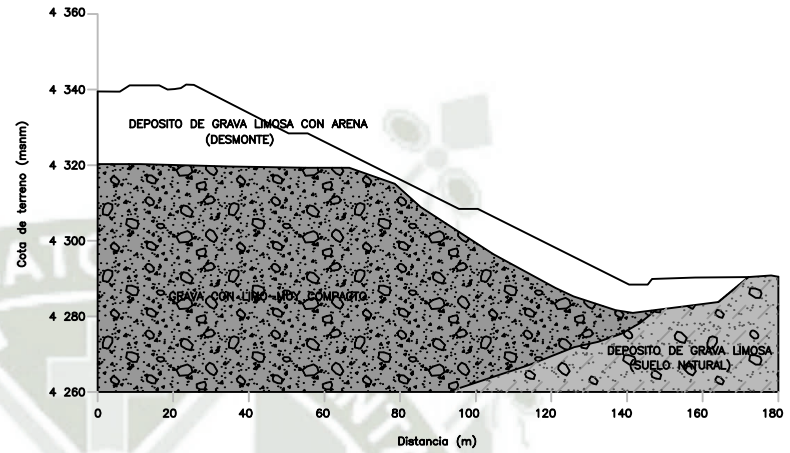
PRESENTADO POR:

VILLANUEVA ZAVALA FERNÁN DHAREI



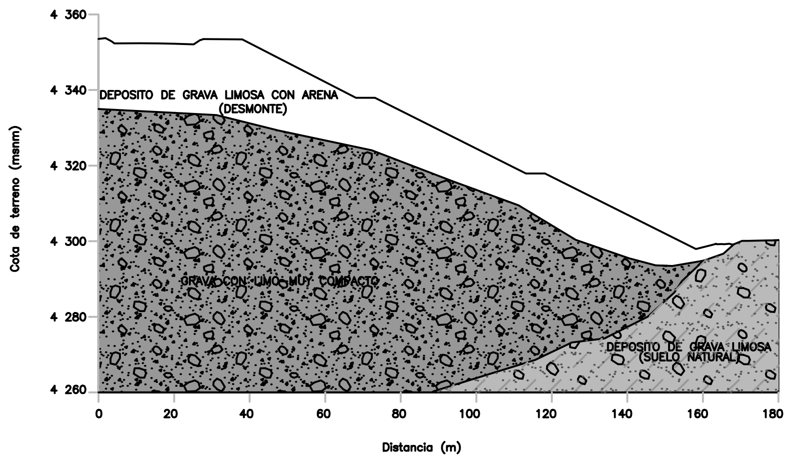
CORTE 5-5

PROGRESIVA: 2+400



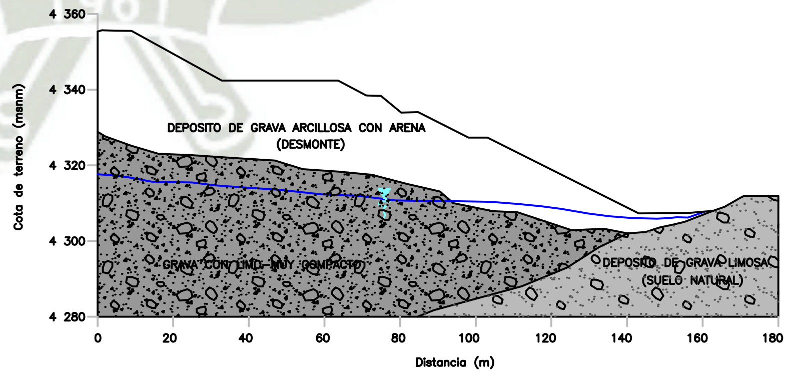
CORTE 6-6

PROGRESIVA: 2+800



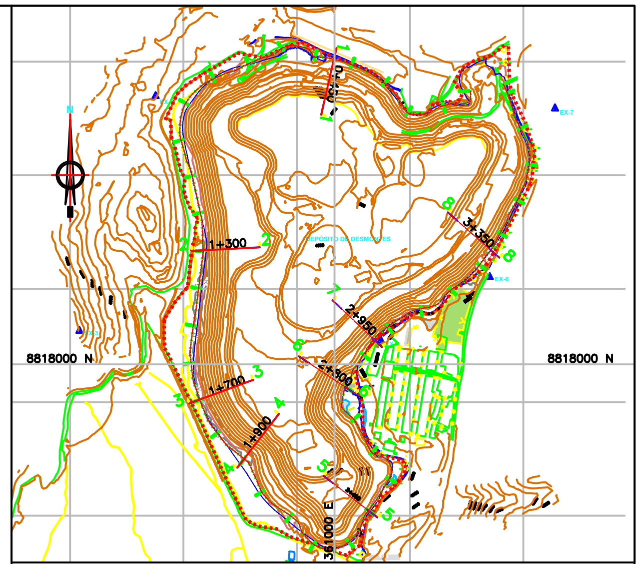
CORTE 7-7

PROGRESIVA: 2+950



CORTE 8-8

PROGRESIVA: 3+350



UBICACION

LEYENDA

- DEPOSITO DE GRAVA LIMOSA (SUELO NATURAL)
- DEPOSITO DE GRAVA ARCILLOSA CON ARENA (DESMONTE)
- GRAVA CON LIMO – MUY COMPACTO
- DEPOSITO DE GRAVA LIMOSA CON ARENA (DESMONTE)

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

PROPUESTA DEL REDISEÑO DE TALUDES PARA LA ESTABILIDAD FÍSICA EN LA REMEDIACIÓN Y CIERRE DE UN DEPÓSITO DE DESMONTES EN CERRO DE PASCO

GEOTÉCNIA

SECCIONES PROPUESTAS
CORTE 5 AL 8

06

PRESENTADO POR:

VILLANUEVA ZAVALA FERNÁN DHAREI

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

ANEXO 02: REGISTROS DE ENSAYOS DE CAMPO

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

ANEXO 02.A: REGISTRO DE CALICATAS Y TRINCHERAS

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REGISTRO DE EXCAVACIÓN

CALICATA : CAL-1

TESIS : "Propuesta del Rediseño de Taludes para la Estabilidad Física en la Remediación y Cierre de un Depósito de Desmontes en Cerro de Pasco."

UBICACIÓN : Cerro de Pasco - Perú

PROFUNDIDAD TOTAL (m) : 2,00

PROF. NIVEL FREÁTICO (m) : N.A

COORDENADAS : 361 084 E ; 8 817 597 N

PROF. (m)	GRAFICO	DESCRIPCION DEL SUELO Clasificación técnica, forma del material granular, color, contenido de humedad, índice de plasticidad / compresibilidad, grado de compacidad / consistencia, Otros: presencia de oxidaciones y material orgánico, porcentaje estimado de boleos / cantos, etc.	SUCS AASHTO	GRANULOMETRIA < 0,075 mm	0,075 mm a 4,750 mm	4,750 mm a 75 mm	LL. %	L.P. %	H.N. %	Nº DE MUESTRA
1.00		Arena arcillosa con grava, color pardo amarillo, con plasticidad baja, ligeramente húmedo, compacto, grava de tamaño máximo 2" de forma angular a subangular, alargada y achatada, bolones de tamaño máximo 8" en forma aislada.	SC	40,6	30,5	28,9	36	24	14	M-1
1.50		Grava arcillosa con arena, color pardo marrón oscuro, ligeramente húmedo, medianamente compacto, grava de tamaño máximo 3" de forma angular a subangular, alargada y achatada, presenta oxido en forma aislada, presenta contaminación de plástico, papel, cartón y rafia. Bolones de 6"a 12" : 20% a 1,70m de profundidad.	GC	30,1	21,1	48,8	35	22	12	M-2
2.00										1,50
3.00		Presenta bloques > 34" en forma continua, impidiendo el avance de la excavación.								2,00
4.00										3,00
										4,00

OBSERVACIONES : No se realizó ensayo de densidad de campo por la presencia de bloques en el fondo de toda la calicata.



Vista panorámica de la calicata CAL-1

REGISTRO DE EXCAVACIÓN

CALICATA : CAL-2

TESIS : "Propuesta del Rediseño de Taludes para la Estabilidad Física en la Remediación y Cierre de un Depósito de Desmontes en Cerro de Pasco."

UBICACIÓN : Cerro de Pasco - Perú

PROFUNDIDAD TOTAL (m) : 1,20

PROF. NIVEL FREÁTICO (m) : 1,00

COORDENADAS : 360 771 E ; 8 817 754 N

PROF. (m)	GRAFICO	DESCRIPCION DEL SUELO Clasificación técnica, forma del material granular, color, contenido de humedad, índice de plasticidad / compresibilidad, grado de compacidad / consistencia, Otros: presencia de oxidaciones y material orgánico, porcentaje estimado de boleos / cantos, etc.	SUCS AASHTO	GRANULOMETRIA < 0,075 mm	0,075 mm a 4,750 mm	4,750 mm a 75 mm	L.L. %	L.P. %	H.N. %	Nº DE MUESTRA
0,45		Grava arcillosa con arena, color pardo marrón, ligeramente húmedo, muy compacto, plasticidad nula, grava de tamaño máximo 1 1/2" de forma angular a subangular y achatada, presenta oxido en la pared por descomposición del mineral.	GC	17,7	25,9	56,4	27	18	7	M-1
1,00 1,20		Limo con grava, color gris a beige, saturado, muy suelto, presenta filtración de agua en forma continua a 1,00m de profundidad.	ML	79,6	9,90	10,5	16	13	19	M-2
2,00										
3,00										
4,00										

OBSERVACIONES : No se realizó el ensayo de densidad de campo por presencia de filtración de agua.
No se continúo con la excavación por la inestabilidad del relave.



Vista panorámica de la calicata CAL-2

REGISTRO DE EXCAVACIÓN

TESIS : "Propuesta del Rediseño de Taludes para la Estabilidad Física en la Remediación y Cierre de un Depósito de Desmontes en Cerro de Pasco."

UBICACIÓN : Cerro de Pasco - Perú

COORDENADAS : 360667 E ; 8 817 891N

REFERENCIA : Desmonte Excélsior

CALICATA : CAL-3

PROFUNDIDAD TOTAL (m) : 1,20

PROF. NIVEL FREÁTICO (m) : 1,10

PROF. (m)	GRAFICO	DESCRIPCION DEL SUELO Clasificación técnica, forma del material granular, color, contenido de humedad, índice de plasticidad / compresibilidad, grado de compacidad / consistencia, Otros: presencia de oxidaciones y material orgánico, porcentaje estimado de boleos / cantos, etc.	SUCS / AASHTO	GRANULOMETRIA < 0,075 mm	GRANULOMETRIA 0,075 mm a 4,750 mm	GRANULOMETRIA 4,750 mm a 75 mm	L.L. %	L.P. %	H.N. %	Nº DE MUESTRA
1.00 1.20		Grava arcillosa con arena, color pardo marrón a amarillo oscuro, húmedo, medianamente compacto a compacto, presenta oxidación en forma aislada, gravas de tamaño máximo 2 1/2" de forma angular a subangular y achatadas. Presenta bloques a la profundidad de 0,50m de tamaño 24". Superficialmente presenta: Bolones (tamaño de 3" a 12"): 15% Bloques (tamaño >12") : 70%	GC	18,2	30,3	51,5	26	18	11	M-1
		Presenta bloques > 34" en forma continua, impidiendo el avance de la calicata. Presenta filtración a 1,1m de profundidad.								
2.00										
3.00										
4.00										

OBSERVACIONES : No se realizó el ensayo de densidad de campo por presencia de filtración de agua. Ubicado aproximadamente en la progresiva 1+740 del eje 1.



Vista panorámica de la calicata CAL-3

REGISTRO DE EXCAVACIÓN

CALICATA : CAL-4

TESIS : "Propuesta del Rediseño de Taludes para la Estabilidad Física en la Remediación y Cierre de un Depósito de Desmontes en Cerro de Pasco."

UBICACIÓN : Cerro de Pasco - Perú

PROFUNDIDAD TOTAL (m) : 1,00

PROF. NIVEL FREÁTICO (m) : 1,00

COORDENADAS : 360 659 E ; 8 818 330 N

PROF. (m)	GRAFICO	DESCRIPCION DEL SUELO Clasificación técnica, forma del material granular, color, contenido de humedad, índice de plasticidad / compresibilidad, grado de compacidad / consistencia, Otros: presencia de oxidaciones y material orgánico, porcentaje estimado de boleos / cantos, etc.	SUCS AASHTO	GRANULOMETRIA < 0,075 mm	0,075 mm a 4,750 mm	4,750 mm a 75 mm	L.L. %	L.P. %	H.N. %	Nº DE MUESTRA
1,00		Grava limosa arcillosa con arena, color pardo amarillo, húmedo, muy compacto, plasticidad baja a media, grava de tamaño máximo 2" de forma angular a subangular, presenta oxidación en toda la calicata. Presencia de filtración a 1,00m de profundidad. Presencia superficial de: Bolones (tamaño de 3"a 12") : 20% Bloques(tamaño >12") : 60%	GC-GM	33,0	27,1	39,9	24	19	9	M-1
2,00		No se continúo con la excavación por presencia de nivel freático.								
3,00										
4,00										

OBSERVACIONES : No se realizó el ensayo de densidad de campo por presencia de filtración de agua.



Vista panorámica de la calicata CAL-4

REGISTRO DE EXCAVACIÓN

CALICATA : CAL-5

TESIS : "Propuesta del Rediseño de Taludes para la Estabilidad Física en la Remediación y Cierre de un Depósito de Desmontes en Cerro de Pasco."

UBICACIÓN : Cerro de Pasco - Perú

PROFUNDIDAD TOTAL (m) : 1,00

PROF. NIVEL FREÁTICO (m) : N.A

COORDENADAS : 361 000 E ; 8 818 814 N

PROF. (m)	GRAFICO	DESCRIPCION DEL SUELO Clasificación técnica, forma del material granular, color, contenido de humedad, índice de plasticidad / compresibilidad, grado de compacidad / consistencia, Otros: presencia de oxidaciones y material orgánico, porcentaje estimado de boleos / cantos, etc.	SUCS AASHTO	GRANULOMETRIA < 0,075 mm	0,075 mm a 4,750 mm	4,750 mm a 75 mm	L.L. %	L.P. %	H.N. %	Nº DE MUESTRA
0,30		Grava limosa con areana, color pardo beige, húmedo, medianamente compacta, plasticidad baja, grava de tamaño máximo 3" de forma angular a subangular, bolones (tamaño de 3" a 12") en 40% y Bloques > 12" en 20%.	-	-	-	-	-	-	-	S/M
1,00		Grava limosa con arena, color pardo marrón amarillo, húmedo, medianamente compacto, plasticidad media a baja, grava de tamaño máximo 2" de forma subangular a angular.	GM	22,6	34,4	43,0	36	28	16	M-1
		Roca débil (R2), muy alterada								M-2
2,00										
3,00										
4,00										

OBSERVACIONES : La calicata se ubica en la progresiva 0+460 del eje 1.



Vista panorámica de la calicata CAL-5

REGISTRO DE EXCAVACIÓN

CALICATA : CAL-6

TESIS : "Propuesta del Rediseño de Taludes para la Estabilidad Física en la Remediación y Cierre de un Depósito de Desmontes en Cerro de Pasco."

UBICACIÓN : Cerro de Pasco - Perú

COORDENADAS : 361 429 E ; 8 818 316 N

PROFUNDIDAD TOTAL (m) : 1,20

PROF. NIVEL FREÁTICO (m) : 1,00

PROF. (m)	GRAFICO	DESCRIPCION DEL SUELO Clasificación técnica, forma del material granular, color, contenido de humedad, índice de plasticidad / compresibilidad, grado de compacidad / consistencia, Otros: presencia de oxidaciones y material orgánico, porcentaje estimado de boleos / cantos, etc.	SUCS / AASHTO	GRANULOMETRIA < 0,075 mm	GRANULOMETRIA 0,075 mm a 4,750 mm	GRANULOMETRIA 4,750 mm a 75 mm	L.L. %	L.P. %	H.N. %	Nº DE MUESTRA
0,10		Suelo de cobertura vegetal.								
1,00		Grava pobremente graduada con limo, color pardo marrón oscuro, húmedo, compacidad suelto, gravas de tamaño máximo 3", de forma subangular a angular, alargadas y achatadas. Bolones (tamaño máximo de 3" a 12") : 50% Bloques (tamaño >12") : 10%	GP-GM	5,50	9,50	85,0	-	NP	4	M-1
1,20										

Presenta filtración de agua a 1,00m de profundidad, impidiendo el avance de la excavación.

2,00

3,00

4,00

OBSERVACIONES : No se realizó el ensayo de densidad por la presencia de nivel freático.



Vista panorámica de la calicata CAL-6

REGISTRO DE EXCAVACIÓN

CALICATA : CAL-7

TESIS : "Propuesta del Rediseño de Taludes para la Estabilidad Física en la Remediación y Cierre de un Depósito de Desmontes en Cerro de Pasco."

UBICACIÓN : Cerro de Pasco - Perú

COORDENADAS : 361 303 E ; 8 818 190N

PROFUNDIDAD TOTAL (m) : 1,10

PROF. NIVEL FREÁTICO (m) : 0,95

PROF. (m)	GRAFICO	DESCRIPCION DEL SUELO Clasificación técnica, forma del material granular, color, contenido de humedad, índice de plasticidad / compresibilidad, grado de compacidad / consistencia, Otros: presencia de oxidaciones y material orgánico, porcentaje estimado de boleos / cantos, etc.	SUCS AASHTO	GRANULOMETRIA < 0,075 mm	0,075 mm a 4,750 mm	4,750 mm a 75 mm	L.L. %	L.P. %	H.N. %	Nº DE MUESTRA
0,70		Grava limosa arcillosa con arena, color pardo marrón oscuro, húmedo, compacto, con lentes de arcilla de baja plasticidad, grava de tamaño máximo 2" de forma angular a subangular y achatada. Material contaminado con restos de ropa, plásticos, sacos de rafia.	GC-GM	16,0	28,2	55,8	28	22	7	M-1
1,00 1,10		Arena bien graduada con limo y grava, color pardo negro oscuro, presenta proceso de oxidación, saturado, compacto, grava de tamaño máximo 2" de forma redondeada, contaminado con restos de plástico, sacos de rafia, cartones y telas. Filtración de agua a una profundidad de 0,95m.	SW-SM	8,80	50,3	40,9	-	NP	12	M-2
2,00		No se continúo con la excavación por presencia de nivel freático.								
3,00										
4,00										

OBSERVACIONES : No se realizó el ensayo de densidad de campo por la presencia de nivel freático a una profundidad de 0,95m



Vista panorámica de la calicata CAL-7

REGISTRO DE EXCAVACIÓN

CALICATA : CAL-8

TESIS : "Propuesta del Rediseño de Taludes para la Estabilidad Física en la Remediación y Cierre de un Depósito de Desmontes en Cerro de Pasco."

UBICACIÓN : Cerro de Pasco - Perú

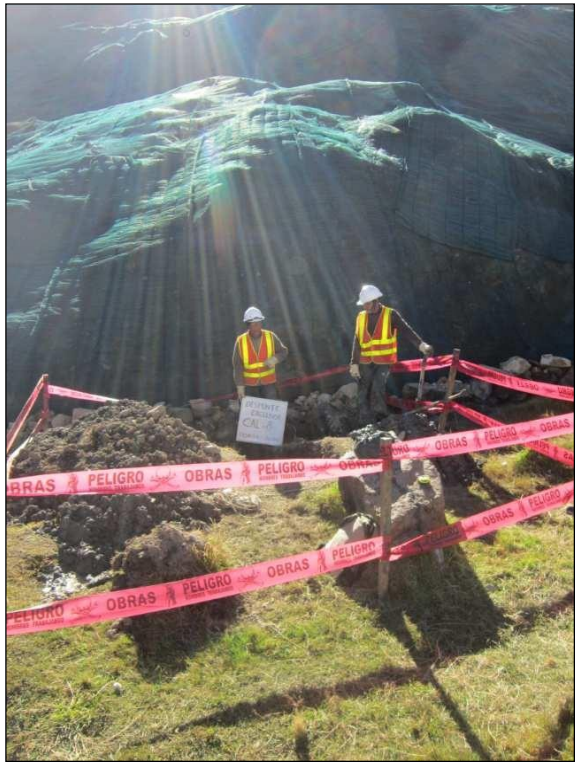
COORDENADAS : 361 054 E ; 8 817 975N

PROFUNDIDAD TOTAL (m) : 2,50

PROF. NIVEL FREÁTICO (m) : N.A

PROF. (m)	GRAFICO	DESCRIPCION DEL SUELO Clasificación técnica, forma del material granular, color, contenido de humedad, índice de plasticidad / compresibilidad, grado de compacidad / consistencia, Otros: presencia de oxidaciones y material orgánico, porcentaje estimado de boleos / cantos, etc.	SUCS AASHTO	GRANULOMETRIA < 0,075 mm	0,075 mm a 4,750 mm	4,750 mm a 75 mm	L.L. %	L.P. %	H.N. %	Nº DE MUESTRA
0,10		Cobertura de suelo organico.								
0,60		Relleno común, desmonte de mina con restos de bolsas de plástico, madera cintas y otros, saturado, blando, gravas de forma angular a subangular, color pardo negruzco con olor fétido.	-	-	-	-	-	-	-	S/M
1,00		Grava limosa con arena, color pardo beige, saturado, medianamente compacto a compacto, grava de tamaño máximo 2 1/2" de forma angular a sub angular, presencia de filtraciones en las paredes de la calicata impidiendo el avance de la excavación, presenta bolones de 3" a 6" en forma aislada.	GM	30,1	30,5	39,4	-	NP	13	M-1
2,00										
2,50										
3,00										
4,00										

OBSERVACIONES : Se tomo una muestra inalterada del terreno a natural a una profundidad aproximada de 2,00m.



Vista panorámica de la calicata CAL-8

REGISTRO DE EXCAVACIÓN

TRINCHERA : TRI-1

TESIS : "Propuesta del Rediseño de Taludes para la Estabilidad Física en la Remediación y Cierre de un Depósito de Desmontes en Cerro de Pasco."

UBICACIÓN : Cerro de Pasco - Perú

PROFUNDIDAD TOTAL (m) : 2,50

PROF. NIVEL FREÁTICO (m) : N.A

COORDENADAS : 361 058 E ; 8 817 636 N

PROF. (m)	GRAFICO	DESCRIPCION DEL SUELO Clasificación técnica, forma del material granular, color, contenido de humedad, índice de plasticidad / compresibilidad, grado de compacidad / consistencia, Otros: presencia de oxidaciones y material orgánico, porcentaje estimado de boleos / cantos, etc.	SUCS AASHTO	GRANULOMETRIA < 0,075 mm	0,075 mm a 4,750 mm	4,750 mm a 75 mm	L.L. %	L.P. %	H.N. %	Nº DE MUESTRA
0.20		Grava limosa con arena de color pardo amarillo, muestra similar a M-2	GC	-	-	-	-	-	-	S/M
0.60		Grava pobremente graduada con limo y arena, color pardo beige, oscuro, húmedo, medianamente compacto, grava de tamaño máximo 3" de forma sub-angular a angular.	GP-GM	11,7	32,3	56,0	-	NP	6	M-1
1.00 / 2.00 / 2.50		Grava arcillosa con arena, color pardo marrón amarillo, húmedo, muy compacto, grava de tamaño máximo 3" de forma sub-angular a angular, alargada y achatada. Presenta proceso de oxidación del material en todo el estrato.	GC	16,0	19,3	64,7	29	22	8	M-2
		Se realizó ensayo de densidad in situ , DE-1 (2,55gr/cm2), a 2,50m de profundidad.								
4.00										

OBSERVACIONES : En la superficie del talud presenta :
Bolones (tamaño 3" a 12") : 30%
Bloques (tamaño >12"): 20%



Vista panorámica de la trinchera TRI-1

REGISTRO DE EXCAVACIÓN

TRINCHERA : TRI-2

TESIS : "Propuesta del Rediseño de Taludes para la Estabilidad Física en la Remediación y Cierre de un Depósito de Desmontes en Cerro de Pasco."

UBICACIÓN : Cerro de Pasco - Perú

PROFUNDIDAD TOTAL (m) : 3,00

PROF. NIVEL FREÁTICO (m) : N.A

COORDENADAS : 360 813 E ; 8 817 811N

PROF. (m)	GRAFICO	DESCRIPCION DEL SUELO Clasificación técnica, forma del material granular, color, contenido de humedad, índice de plasticidad / compresibilidad, grado de compacidad / consistencia, Otros: presencia de oxidaciones y material orgánico, porcentaje estimado de boleos / cantos, etc.	SUCS AASHTO	GRANULOMETRIA < 0,075 mm	0,075 mm a 4,750 mm	4,750 mm a 75 mm	L.L. %	L.P. %	H.N. %	Nº DE MUESTRA
0.30		Grava limosa arcillosa con arena, color pardo amarillo, humedo, muy compacto, presenta plastico, cables y cintas de rafias , se observa oxidación en todo el material del estrato, muestra similar a M-1 de TRI-2.	GC-GM	-	-	-	-	-	-	S/M
1.00		Grava limosa arcillosa con arena, color pardo marrón y amarillo, húmedo, medianamente compacto, grava de tamaño máximo 2" de forma angular a subangular, achatada y alargada, el material presenta proceso de oxidación.	GC-GM	16,6	26,5	56,9	23	17	8	M-1
2.00										
3.00										
4.00		Se realizó ensayo de densidad in situ , DE-2 (2,14gr/cm3), a 3,00m de profundidad.								

OBSERVACIONES : En la superficie del talud presenta :
Bolones (tamaño 3" a 12") : 20%
Bloques (tamaño >12"): 20%



Vista panorámica de la trinchera TRI-2

REGISTRO DE EXCAVACIÓN

TRINCHERA : TRI-3

TESIS : "Propuesta del Rediseño de Taludes para la Estabilidad Física en la Remediación y Cierre de un Depósito de Desmontes en Cerro de Pasco."

UBICACIÓN : Cerro de Pasco - Perú

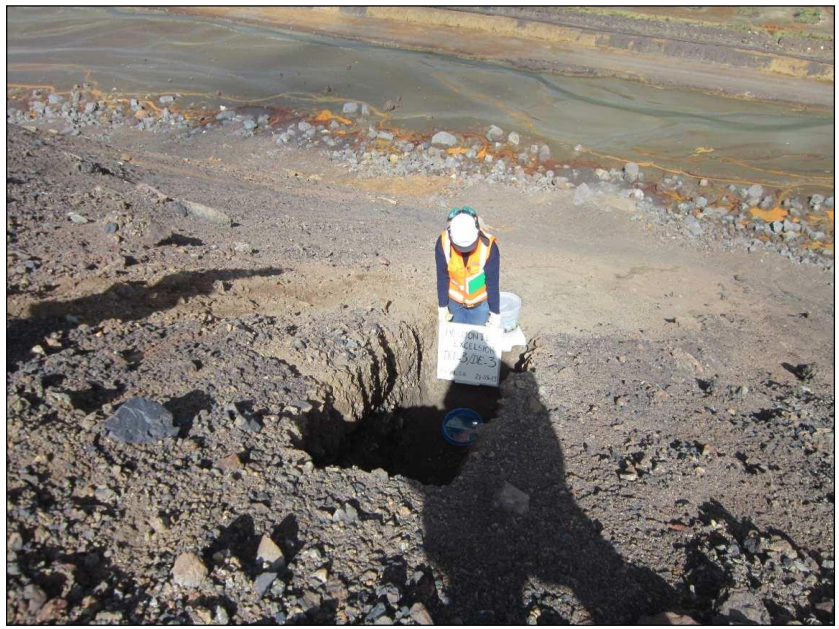
PROFUNDIDAD TOTAL (m) : 3,00

PROF. NIVEL FREÁTICO (m) : N.A

COORDENADAS : 360 717 E ; 8 817 916 N

PROF. (m)	GRAFICO	DESCRIPCION DEL SUELO Clasificación técnica, forma del material granular, color, contenido de humedad, índice de plasticidad / compresibilidad, grado de compacidad / consistencia, Otros: presencia de oxidaciones y material orgánico, porcentaje estimado de boleos / cantos, etc.	SUCS AASHTO	GRANULOMETRIA < 0,075 mm	0,075 mm a 4,750 mm	4,750 mm a 75 mm	L.L. %	L.P. %	H.N. %	Nº DE MUESTRA
1.00		Grava limosa arcillosa con arena de color pardo marrón beige oscuro, húmedo, medianamente compacto, grava de tamaño máximo 3" de forma angular a sub-angular, alargada y achatada.	GC-GM	12,4	24,7	62,9	24	18	6	M-1
2.00										
3.00										
		Se realizó ensayo de densidad in situ , DE-3 (2,32gr/cm2), a 3,00m de profundidad.								
4.00										

OBSERVACIONES : En la superficie del talud presenta :
Bolones (tamaño 3" a 12") : 30%
Bloques (tamaño >12"): 10%



Vista panorámica de la trinchera TRI-3

REGISTRO DE EXCAVACIÓN

TRINCHERA : TRI-4

TESIS : "Propuesta del Rediseño de Taludes para la Estabilidad Física en la Remediación y Cierre de un Depósito de Desmontes en Cerro de Pasco."

UBICACIÓN : Cerro de Pasco - Perú

PROFUNDIDAD TOTAL (m) : 3,00

PROF. NIVEL FREÁTICO (m) : N.A

COORDENADAS : 360 711 E ; 8 818 335 N

PROF. (m)	GRAFICO	DESCRIPCION DEL SUELO Clasificación técnica, forma del material granular, color, contenido de humedad, índice de plasticidad / compresibilidad, grado de compacidad / consistencia, Otros: presencia de oxidaciones y material orgánico, porcentaje estimado de boleos / cantos, etc.	SUCS AASHTO	GRANULOMETRIA < 0,075 mm	GRANULOMETRIA 0,075 mm a 4,750 mm	GRANULOMETRIA 4,750 mm a 75 mm	L.L. %	L.P. %	H.N. %	Nº DE MUESTRA
0,30		Arena limosa arcillosa con arena, color amarillo, humedo, compacidad compacto. Material contaminado con troncos, madera, rafia y plasticos.	SC-SM	-	-	-	-	-	-	S/M
1,00		Arena limosa arcillosa con grava, de color pardo beige claro, muy húmedo, medianamente compacto a compacto, grava de tamaño máximo 2" de forma angular a sub-angular, achatadas y alargadas.	SC-SM	39,5	40,5	20,0	24	18	17	M-1
2,00										
3,00										
4,00		Se realizó ensayo de densidad in situ , DE-4 (2,51gr/cm2), a 3,00m de profundidad.								



Vista panorámica de la trinchera TRI-4

REGISTRO DE EXCAVACIÓN

TRINCHERA : TRI-5

TESIS : "Propuesta del Rediseño de Taludes para la Estabilidad Física en la Remediación y Cierre de un Depósito de Desmontes en Cerro de Pasco."

UBICACIÓN : Cerro de Pasco - Perú

PROFUNDIDAD TOTAL (m) : 3,00

PROF. NIVEL FREÁTICO (m) : N.A

COORDENADAS : 360 975 E ; 8 818 741 N

PROF. (m)	GRAFICO	DESCRIPCION DEL SUELO Clasificación técnica, forma del material granular, color, contenido de humedad, índice de plasticidad / compresibilidad, grado de compacidad / consistencia, Otros: presencia de oxidaciones y material orgánico, porcentaje estimado de boleos / cantos, etc.	SUCS / AASHTO	GRANULOMETRIA < 0,075 mm	GRANULOMETRIA 0,075 mm a 4,750 mm	GRANULOMETRIA 4,750 mm a 75 mm	L.L. %	L.P. %	H.N. %	Nº DE MUESTRA
1.00		Grava arcillosa con arena, de color pardo, beige a amarillo, húmedo, muy compacto, no plástico, grava de tamaño máximo 3" de forma angular a sub-angular, alargada y achatada, presenta oxidación en todo el estrato de la calicata.	GC	12,2	28,4	59,4	24	17	10	M-1
2.00										
3.00										
		Se realizó ensayo de densidad in situ , DE-5 (2,49 gr/cm2), a 3,00m de profundidad.								
4.00										

OBSERVACIONES : En la superficie del talud presenta :
Bolones (tamaño 3" a 12") : 15%
Bloques (tamaño >12"): 5%



Vista panorámica de la trinchera TRI-5

REGISTRO DE EXCAVACIÓN

TRINCHERA : TRI-6

TESIS : "Propuesta del Rediseño de Taludes para la Estabilidad Física en la Remediación y Cierre de un Depósito de Desmontes en Cerro de Pasco."

UBICACIÓN : Cerro de Pasco - Perú

PROFUNDIDAD TOTAL (m) : 3,00

PROF. NIVEL FREÁTICO (m) : N.A

COORDENADAS : 361 406 E ; 8 818 347 N

PROF. (m)	GRAFICO	DESCRIPCION DEL SUELO Clasificación técnica, forma del material granular, color, contenido de humedad, índice de plasticidad / compresibilidad, grado de compacidad / consistencia, Otros: presencia de oxidaciones y material orgánico, porcentaje estimado de boleos / cantos, etc.	SUCS AASHTO	GRANULOMETRIA < 0,075 mm	0,075 mm a 4,750 mm	4,750 mm a 75 mm	L.L. %	L.P. %	H.N. %	Nº DE MUESTRA
1,00		Grava pobremente graduada con arcilla y arena, de color pardo marrón oscuro, húmedo, medianamente compacto a compacto, grava de tamaño máximo 3" de forma angular a sub-angular, achatadas y alargadas, presenta oxidación hasta 1,00m de profundidad.	GP-GC	11,5	30,8	57,7	24	17	7	M-1
2,00										
3,00		Grava arcillosa con arena, color pardo beige oscuro, húmedo, compacto con lentes de arcilla, grava tamaño máximo 3" de forma angular a sub-angular, presenta bolones de tamaño 3" a 12" en un 20%.	GC	12,4	29,1	58,5	32	20	8	M-2
4,00		Se realizó ensayo de densidad in situ , DE-6 (2,22 gr/cm2), a 3,00m de profundidad.								



Vista panorámica de la trinchera TRI-6

OBSERVACIONES : En la superficie del talud presenta :
Bolones (tamaño 3" a 12") : 20%
Bloques (tamaño >12"): 10%

REGISTRO DE EXCAVACIÓN

TESIS : "Propuesta del Rediseño de Taludes para la Estabilidad Física en la Remediación y Cierre de un Depósito de Desmontes en Cerro de Pasco."

UBICACIÓN : Cerro de Pasco - Perú

TRINCHERA : TRI-7

PROFUNDIDAD TOTAL (m) : 3,00

PROF. NIVEL FREÁTICO (m) : N.A

COORDENADAS : 361 031 E ; 8 817 767 N

PROF. (m)	GRAFICO	DESCRIPCION DEL SUELO Clasificación técnica, forma del material granular, color, contenido de humedad, índice de plasticidad / compresibilidad, grado de compacidad / consistencia, Otros: presencia de oxidaciones y material orgánico, porcentaje estimado de boleos / cantos, etc.	SUCS / AASHTO	GRANULOMETRIA < 0,075 mm	GRANULOMETRIA 0,075 mm a 4,750 mm	GRANULOMETRIA 4,750 mm a 75 mm	L.L. %	L.P. %	H.N. %	Nº DE MUESTRA
1,00		Grava limosa con arena, color pardo amarillo, húmedo, muy compacto, grava de tamaño máximo 3" de forma angular a sub-angular y achatadas. Bolones tamaño de 3" a 12" : 20%	GM	21,2	28,7	50,1	41	32	18	M-1
2,00										
2,50		Grava limosa arcillosa con arena, color pardo beige, húmedo, medianamente compacto, grava de tamaño máximo 3" de forma angular a sub-angular, achatada y alargada.	GC-GM	22,5	30,8	46,7	20	15	13	M-2
3,00										
		Se realizó ensayo de densidad in situ , DE-7 (2,2 gr/cm2), a 3,00m de profundidad.								
4,00										

OBSERVACIONES : En la superficie del talud presenta :
Bolones (tamaño 3" a 12") : 20%
Bloques (tamaño >12") : 5%



Vista panorámica de la trinchera TRI-7

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

ANEXO 02.B: REGISTRO DE ENSAYO DE DENSIDAD

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

ENSAYO DE DENSIDAD DE CAMPO
(Método del Balón)

TESIS: "Propuesta del Rediseño de Taludes para la Estabilidad Física en la Remediación y Cierre de un Depósito de Desmontes en Cerro de Pasco."

UBICACIÓN : Cerro de Pasco - Perú

DENSIDAD HÚMEDA								
UBICACIÓN CALICATA / TRINCHERA DENSIDAD PROFUNDIDAD (m)		DEPÓSITO DE DESMONTES						
		TRI-1	TRI-2	TRI-3	TRI-4	TRI-5	TRI-6	TRI-7
		DE-1	DE-2	DE-3	DE-4	DE-5	DE-6	DE-7
		2,50-2,80	-	3,00-3,30	3,00-3,30	3,00-3,30	-	3,00-3,30
Peso del material extraído	g	25525	24274	24291	24317	28791	20788	23477
Volumen hoyo	g	10012	11347	10471	9676	11561	9362	10662
Densidad del agua	g/cm^3	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Densidad Húmeda	gr/cm^3	2,55	2,14	2,32	2,51	2,49	2,22	2,20

CONTENIDO DE HUMEDAD								
Contenido de humedad	%	8	8	6	17	10	7	13

RESULTADOS								
Densidad húmeda	gr/cm^3	2,55	2,14	2,32	2,51	2,49	2,22	2,20
Contenido de humedad	%	8	8	6	17	10	7	13
Densidad seca	gr/cm^3	2,36	1,98	2,19	2,15	2,26	2,08	1,95

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

ANEXO 02.C: REGISTRO DE ENSAYOS DE REFRACCIÓN SÍSMICA

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

LINEA 01

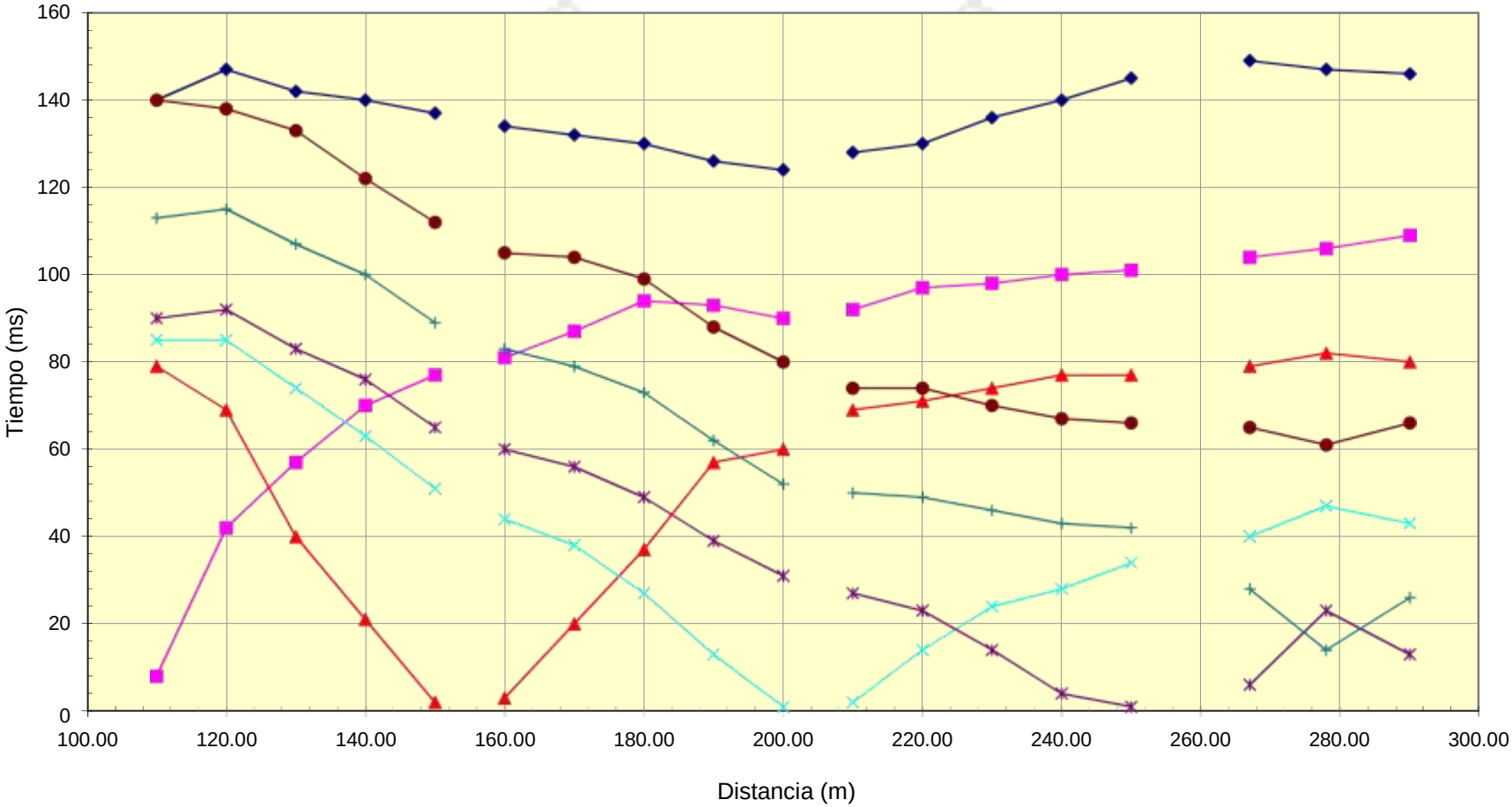
	Distancia (m)	Shot 01-01	Shot 01-02	Shot 01-03	Shot 01-04	Shot 01-05	Shot 01-06	Shot 01-07
Shot 01-01	0.00							
Shot 01-02	100.00							
G-22	110.00	140	8	79	85	90	113	140
G-21	120.00	147	42	69	85	92	115	138
G-20	130.00	142	57	40	74	83	107	133
G-19	140.00	140	70	21	63	76	100	122
G-18	150.00	137	77	2	51	65	89	112
Shot 01-03	155.00							
G-17	160.00	134	81	3	44	60	83	105
G-16	170.00	132	87	20	38	56	79	104
G-15	180.00	130	94	37	27	49	73	99
G-14	190.00	126	93	57	13	39	62	88
G-13	200	124	90	60	1	31	52	80
Shot 01-04	205.00							
G-1	210.00	128	92	69	2	27	50	74
G-2	220.00	130	97	71	14	23	49	74
G-3	230.00	136	98	74	24	14	46	70
G-4	240.00	140	100	77	28	4	43	67
G-5	250.00	145	101	77	34	1	42	66
Shot 01-05	255.00							
G-10	267.00	149	104	79	40	6	28	65
G-11	278.00	147	106	82	47	23	14	61
G-12	290.00	146	109	80	43	13	26	66
Shot 01-06	300.00							
Shot 01-07	400.00							

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

DEPÓSITO DE DESMONTES

DROMOCRÓNICA

LINEA 01



REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

LINEA 02

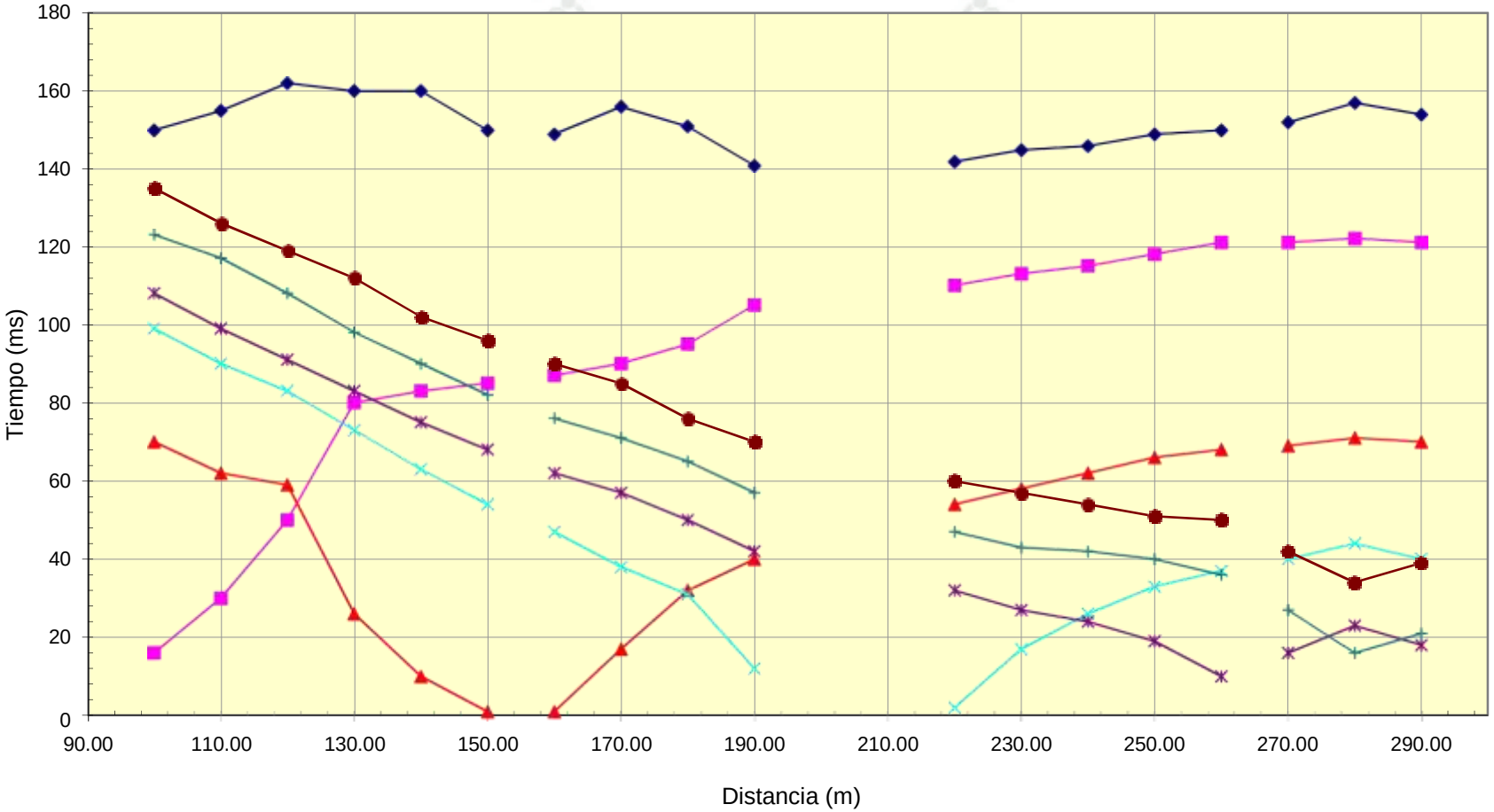
	Distancia (m)	Shot 02-01	Shot 02-02	Shot 02-03	Shot 02-04	Shot 02-05	Shot 02-06	Shot 02-07
Shot 02-01	0.00							
Shot 02-02	95.00							
G-22	100.00	150	16	70	99	108	123	135
G-21	110.00	155	30	62	90	99	117	126
G-20	120.00	162	50	59	83	91	108	119
G-19	130.00	160	80	26	73	83	98	112
G-18	140.00	160	83	10	63	75	90	102
G-17	150.00	150	85	1	54	68	82	96
Shot 02-03	155.00							
G-16	160.00	149	87	1	47	62	76	90
G-15	170.00	156	90	17	38	57	71	85
G-14	180.00	151	95	32	31	50	65	76
G-13	190.00	141	105	40	12	42	57	70
Shot 02-04	215.00							
G-1	220.00	142	110	54	2	32	47	60
G-2	230.00	145	113	58	17	27	43	57
G-3	240.00	146	115	62	26	24	42	54
G-4	250.00	149	118	66	33	19	40	51
G-5	260.00	150	121	68	37	10	36	50
Shot 02-05	265.00							
G-10	270.00	152	121	69	40	16	27	42
G-11	280.00	157	122	71	44	23	16	34
G-12	290.00	154	121	70	40	18	21	39
Shot 02-06	300.00							
Shot 02-07	400.00							

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

DEPÓSITO DE DESMONTES

DROMOCRÓNICA

LINEA 02



REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

LINEA 03

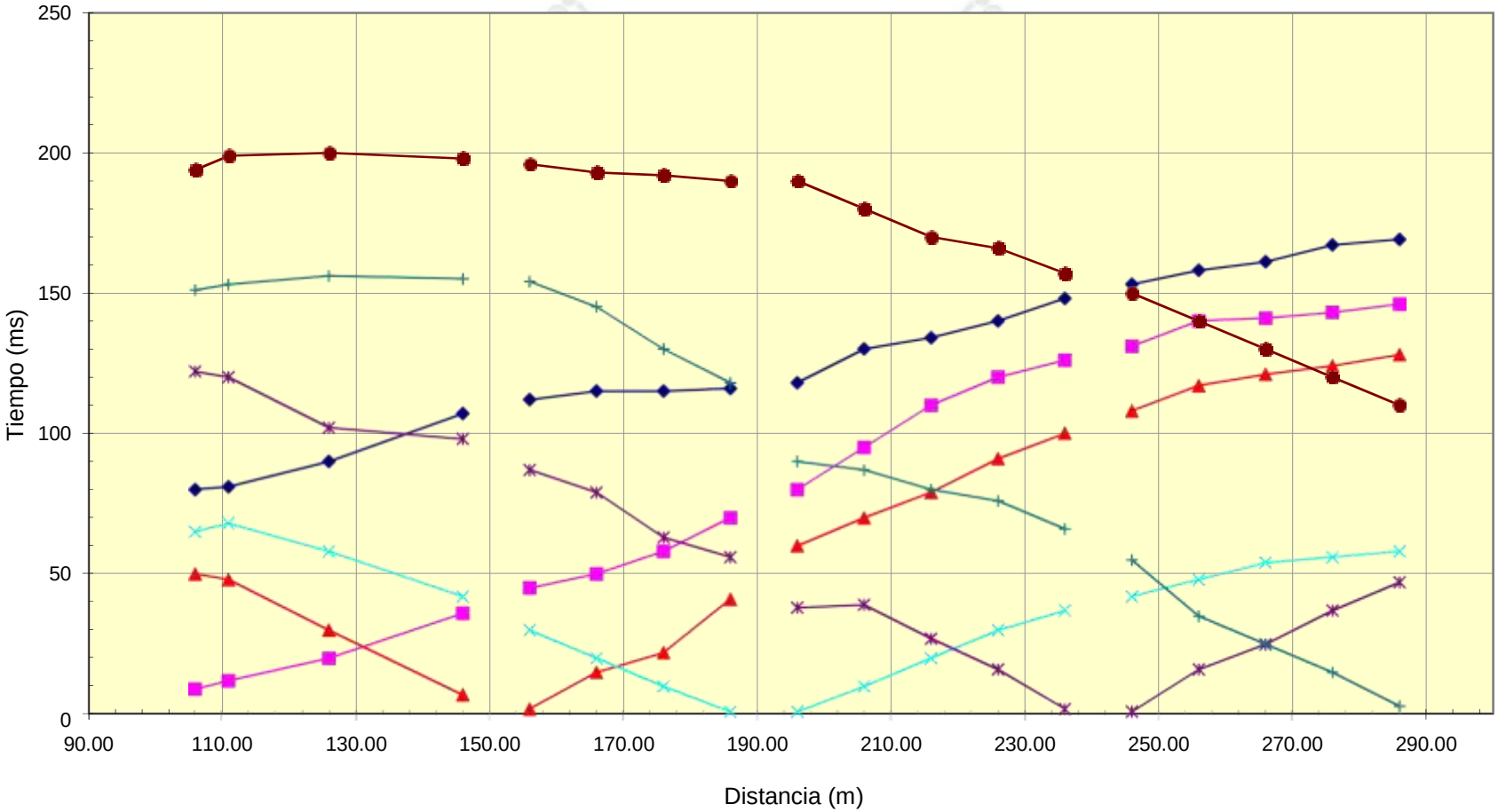
	Distancia (m)	Shot 03-01	Shot 03-02	Shot 03-03	Shot 03-04	Shot 03-05	Shot 03-06	Shot 03-07
Shot 03-01	**0.00**							
Shot 03-02	**96.00**							
G-12	106.00	80.00	9.00	50.00	65.00	122.00	151.00	194.00
G-11	111.00	81.00	12.00	48.00	68.00	120.00	153.00	199.00
G-10	126.00	90.00	20.00	30.00	58.00	102.00	156.00	200.00
G-5	146.00	107.00	36.00	7.00	42.00	98.00	155.00	198.00
Shot 03-03	**151.00**							
G-4	156.00	112.00	45.00	2.00	30.00	87.00	154.00	196.00
G-3	166.00	115.00	50.00	15.00	20.00	79.00	145.00	193.00
G-2	176.00	115.00	58.00	22.00	10.00	63.00	130.00	192.00
G-1	186.00	116.00	70.00	41.00	1.00	56.00	118.00	190.00
Shot 03-04	**191.00**							
G-13	196.00	118.00	80.00	60.00	1.00	38.00	90.00	190.00
G-14	206.00	130.00	95.00	70.00	10.00	39.00	87.00	180.00
G-15	216.00	134.00	110.00	79.00	20.00	27.00	80.00	170.00
G-16	226.00	140.00	120.00	91.00	30.00	16.00	76.00	166.00
G-17	236.00	148.00	126.00	100.00	37.00	2.00	66.00	157.00
Shot 03-05	**241.00**							
G-18	246.00	153.00	131.00	108.00	42.00	1.00	55.00	150.00
G-19	256.00	158.00	140.00	117.00	48.00	16.00	35.00	140.00
G-20	266.00	161.00	141.00	121.00	54.00	25.00	25.00	130.00
G-21	276.00	167.00	143.00	124.00	56.00	37.00	15.00	120.00
G-22	286.00	169.00	146.00	128.00	58.00	47.00	3.00	110.00
Shot 03-06	**296.00**							
Shot 03-07	**396.00**							

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

DEPÓSITO DE DESMONTES

DROMOCRÓNICA

LINEA 03



REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

LINEA 04

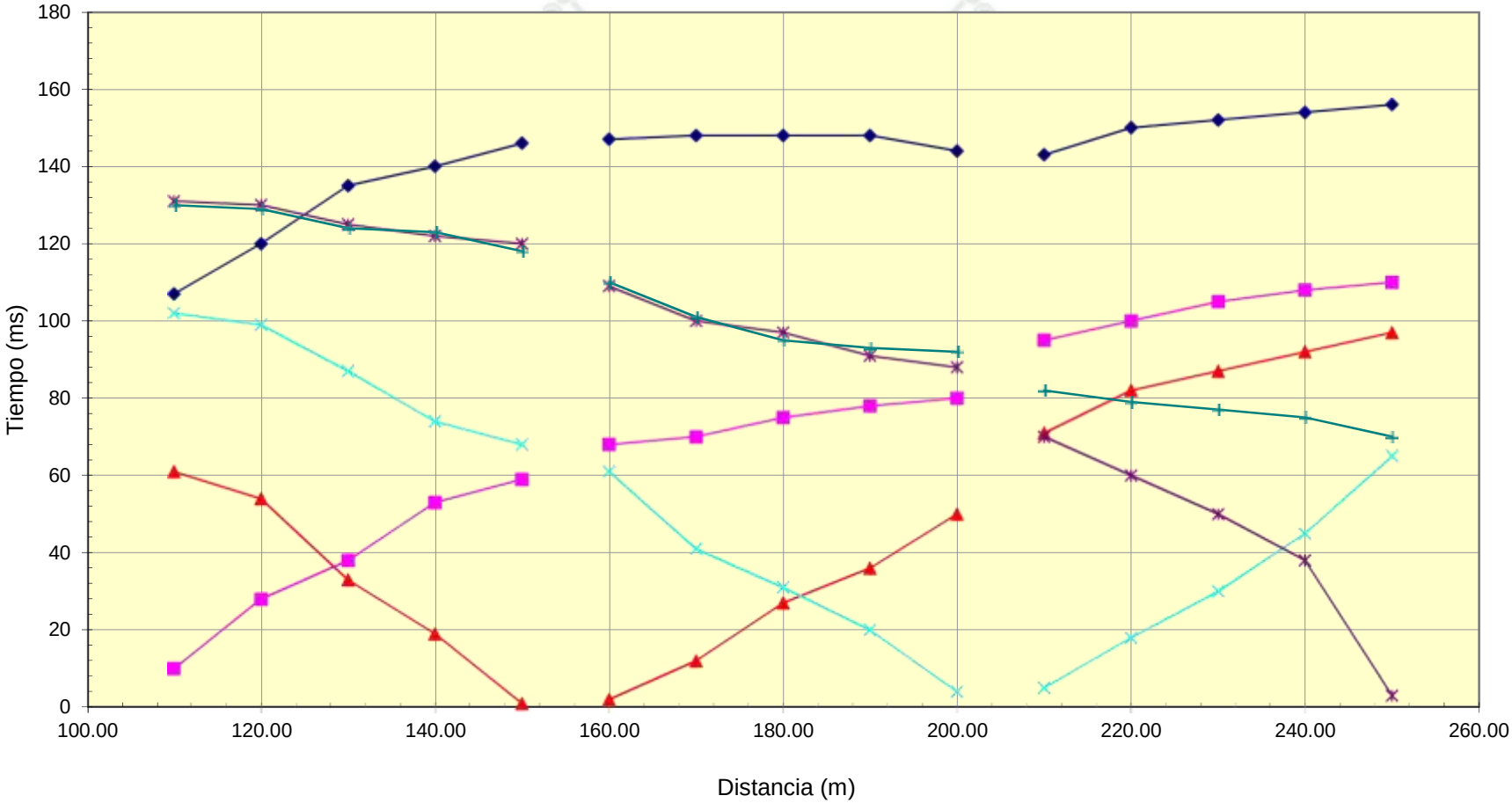
	Distancia (m)	Shot 04-01	Shot 04-02	Shot 04-03	Shot 04-04	Shot 04-05	Shot 04-06
Shot 04-01	0.00						
Shot 04-02	100.00						
G-22	110.00	107.00	10.00	61.00	102.00	131.00	130.00
G-21	120.00	120.00	28.00	54.00	99.00	130.00	129.00
G-20	130.00	135.00	38.00	33.00	87.00	125.00	124.00
G-19	140.00	140.00	53.00	19.00	74.00	122.00	123.00
G-18	150.00	146.00	59.00	1.00	68.00	120.00	118.00
Shot 04-03	155.00						
G-17	160.00	147.00	68.00	2.00	61.00	109.00	110.00
G-16	170.00	148.00	70.00	12.00	41.00	100.00	101.00
G-15	180.00	148.00	75.00	27.00	31.00	97.00	95.00
G-14	190.00	148.00	78.00	36.00	20.00	91.00	93.00
G-13	200.00	144.00	80.00	50.00	4.00	88.00	92.00
Shot 04-04	205.00						
G-1	210.00	143.00	95.00	71.00	5.00	70.00	82.00
G-2	220.00	150.00	100.00	82.00	18.00	60.00	79.00
G-3	230.00	152.00	105.00	87.00	30.00	50.00	77.00
G-4	240.00	154.00	108.00	92.00	45.00	38.00	75.00
G-5	250.00	156.00	110.00	97.00	65.00	3.00	70.00
Shot 04-05	255.00						
Shot 04-06	300.00						

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

DEPÓSITO DE DESMONTES

DROMOCRÓNICA

LINEA 04



REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

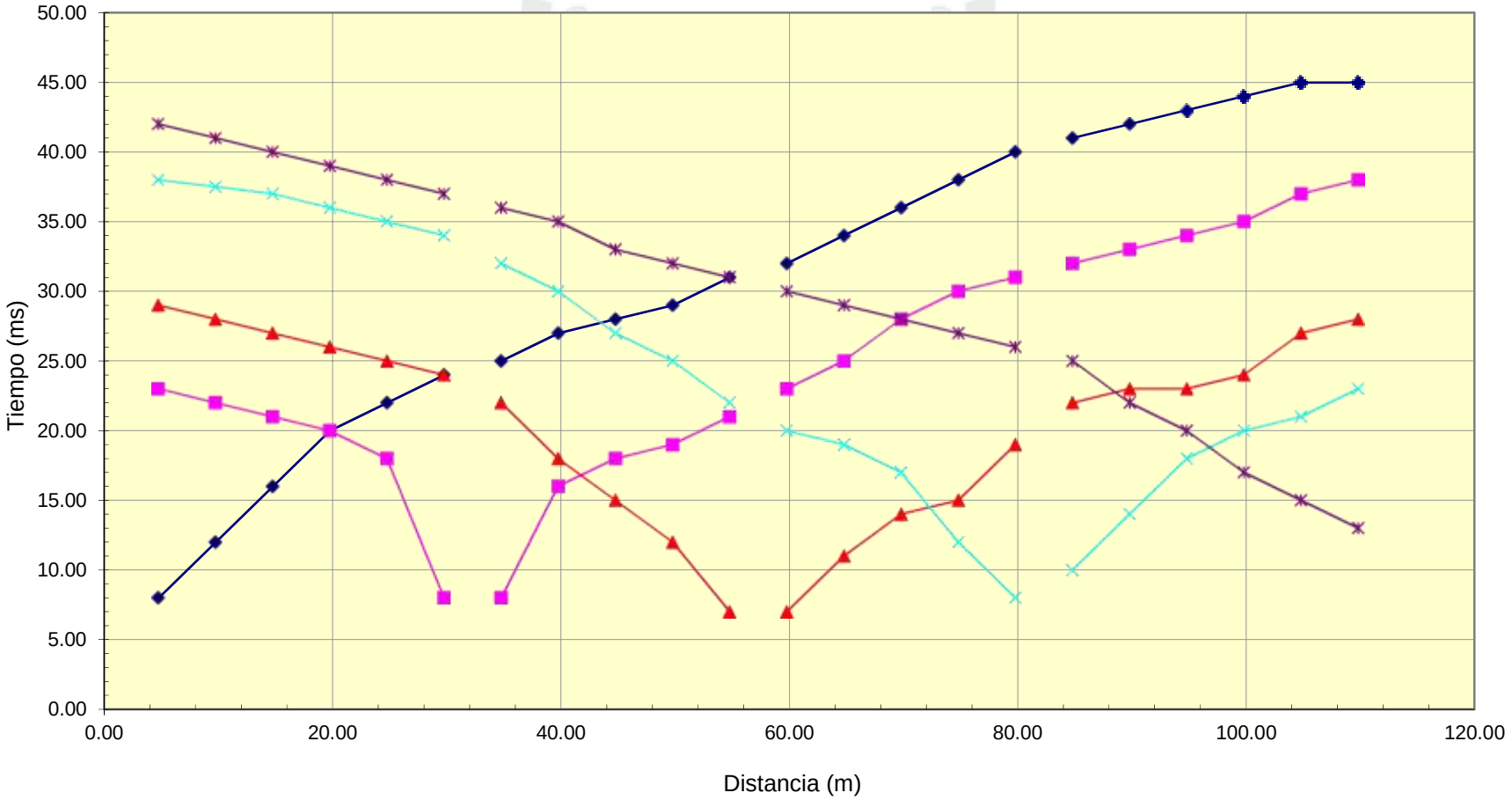
UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

LINEA 05

	Distancia (m)	Shot 05-01	Shot 05-02	Shot 05-03	Shot 05-04	Shot 05-05
Shot 05-01	**0.00**					
G-22	4.78	8.0	23.0	29.0	38.0	42.0
G-21	9.78	12.0	22.0	28.0	37.5	41.0
G-20	14.78	16.0	21.0	27.0	37.0	40.0
G-19	19.78	20.0	20.0	26.0	36.0	39.0
G-18	24.78	22.0	18.0	25.0	35.0	38.0
G-17	29.78	24.0	8.0	24.0	34.0	37.0
Shot 05-02	**32.35**					
G-16	34.78	25.0	8.0	22.0	32.0	36.0
G-15	39.78	27.0	16.0	18.0	30.0	35.0
G-14	44.78	28.0	18.0	15.0	27.0	33.0
G-13	49.78	29.0	19.0	12.0	25.0	32.0
G-1	54.78	31.0	21.0	7.0	22.0	31.0
Shot 05-03	**57.22**					
G-2	59.78	32.0	23.0	7.0	20.0	30.0
G-3	64.78	34.0	25.0	11.0	19.0	29.0
G-4	69.78	36.0	28.0	14.0	17.0	28.0
G-5	74.78	38.0	30.0	15.0	12.0	27.0
G-6	79.78	40.0	31.0	19.0	8.0	26.0
Shot 05-04	**82.34**					
G-7	84.78	41.0	32.0	22.0	10.0	25.0
G-8	89.78	42.0	33.0	23.0	14.0	22.0
G-9	94.78	43.0	34.0	23.0	18.0	20.0
G-10	99.78	44.0	35.0	24.0	20.0	17.0
G-11	104.78	45.0	37.0	27.0	21.0	15.0
G-12	109.78	45.0	38.0	28.0	23.0	13.0
Shot 05-05	**114.78**					

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

CHAMPAMARCA
DROMÓCRONICA
LINEA 05



REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

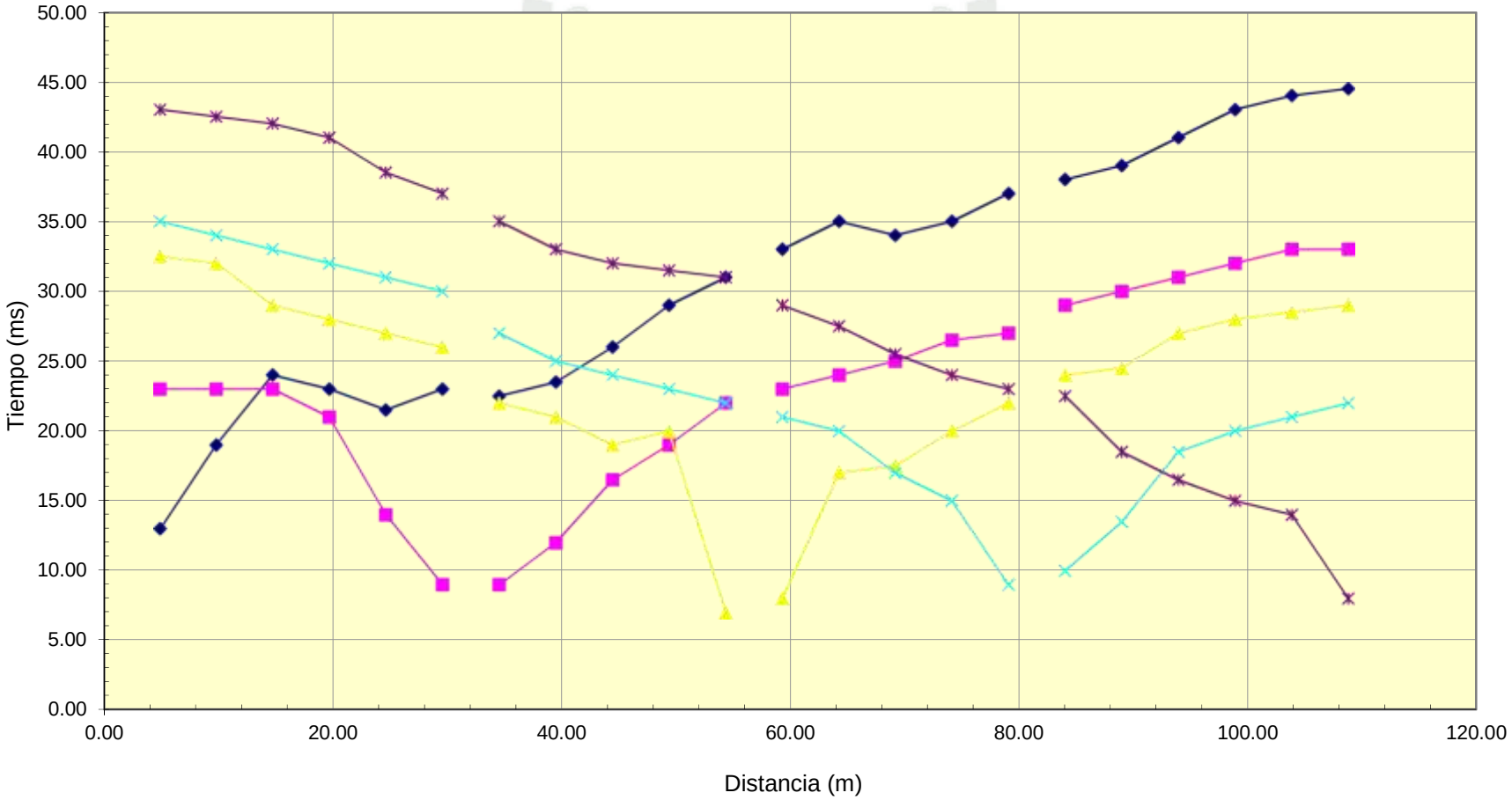
UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

LINEA 06

	Distancia (m)	Shot 06-01	Shot 06-02	Shot 06-03	Shot 06-04	Shot 06-05
Shot 06-01	**0.00**					
G-22	4.90	13.0	23.0	32.5	35.0	43.0
G-21	9.80	19.0	23.0	32.0	34.0	42.5
G-20	14.73	24.0	23.0	29.0	33.0	42.0
G-19	19.68	23.0	21.0	28.0	32.0	41.0
G-18	24.62	21.5	14.0	27.0	31.0	38.5
G-17	29.58	23.0	9.0	26.0	30.0	37.0
Shot 06-02	**32.15**					
G-16	34.53	22.5	9.0	22.0	27.0	35.0
G-15	39.48	23.5	12.0	21.0	25.0	33.0
G-14	44.43	26.0	16.5	19.0	24.0	32.0
G-13	49.37	29.0	19.0	20.0	23.0	31.5
G-1	54.33	31.0	22.0	7.0	22.0	31.0
Shot 06-03	**56.80**					
G-2	59.28	33.0	23.0	8.0	21.0	29.0
G-3	64.23	35.0	24.0	17.0	20.0	27.5
G-4	69.15	34.0	25.0	17.5	17.0	25.5
G-5	74.10	35.0	26.5	20.0	15.0	24.0
G-6	79.05	37.0	27.0	22.0	9.0	23.0
Shot 06-04	**81.50**					
G-7	84.00	38.0	29.0	24.0	10.0	22.5
G-8	88.95	39.0	30.0	24.5	13.5	18.5
G-9	93.90	41.0	31.0	27.0	18.5	16.5
G-10	98.85	43.0	32.0	28.0	20.0	15.0
G-11	103.80	44.0	33.0	28.5	21.0	14.0
G-12	108.75	44.5	33.0	29.0	22.0	8.0
Shot 06-05	**113.70**					

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

CHAMPAMARCA
DROMOCRÓNICA
LINEA 06



REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

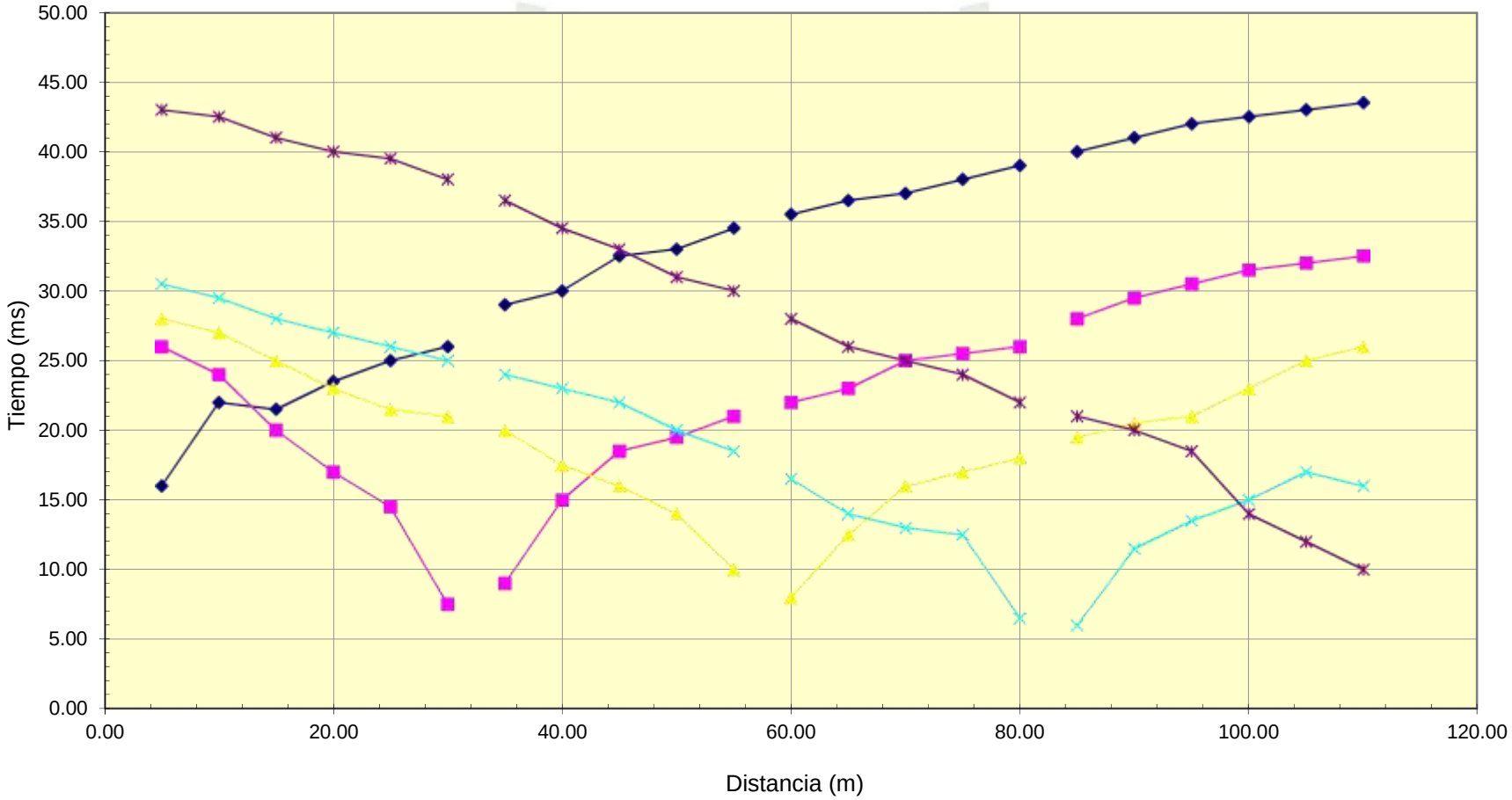
UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

LINEA 07

	Distancia (m)	Shot 07-01	Shot 07-02	Shot 07-03	Shot 07-04	Shot 07-05
Shot 07-01	**0.00**					
G-22	5.00	16.0	26.0	28.0	30.5	43.0
G-21	10.00	22.0	24.0	27.0	29.5	42.5
G-20	15.00	21.5	20.0	25.0	28.0	41.0
G-19	20.00	23.5	17.0	23.0	27.0	40.0
G-18	25.00	25.0	14.5	21.5	26.0	39.5
G-17	30.00	26.0	7.5	21.0	25.0	38.0
Shot 07-02	**32.50**					
G-16	35.00	29.0	9.0	20.0	24.0	36.5
G-15	40.00	30.0	15.0	17.5	23.0	34.5
G-14	45.00	32.5	18.5	16.0	22.0	33.0
G-13	50.00	33.0	19.5	14.0	20.0	31.0
G-1	55.00	34.5	21.0	10.0	18.5	30.0
Shot 07-03	**57.50**					
G-2	60.00	35.5	22.0	8.0	16.5	28.0
G-3	65.00	36.5	23.0	12.5	14.0	26.0
G-4	70.00	37.0	25.0	16.0	13.0	25.0
G-5	75.00	38.0	25.5	17.0	12.5	24.0
G-6	80.00	39.0	26.0	18.0	6.5	22.0
Shot 07-04	**82.50**					
G-7	85.00	40.0	28.0	19.5	6.0	21.0
G-8	90.00	41.0	29.5	20.5	11.5	20.0
G-9	95.00	42.0	30.5	21.0	13.5	18.5
G-10	100.00	42.5	31.5	23.0	15.0	14.0
G-11	105.00	43.0	32.0	25.0	17.0	12.0
G-12	110.00	43.5	32.5	26.0	16.0	10.0
Shot 07-05	**115.00**					

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

CHAMPAMARCA
DROMOCRÓNICA
LINEA 07



REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

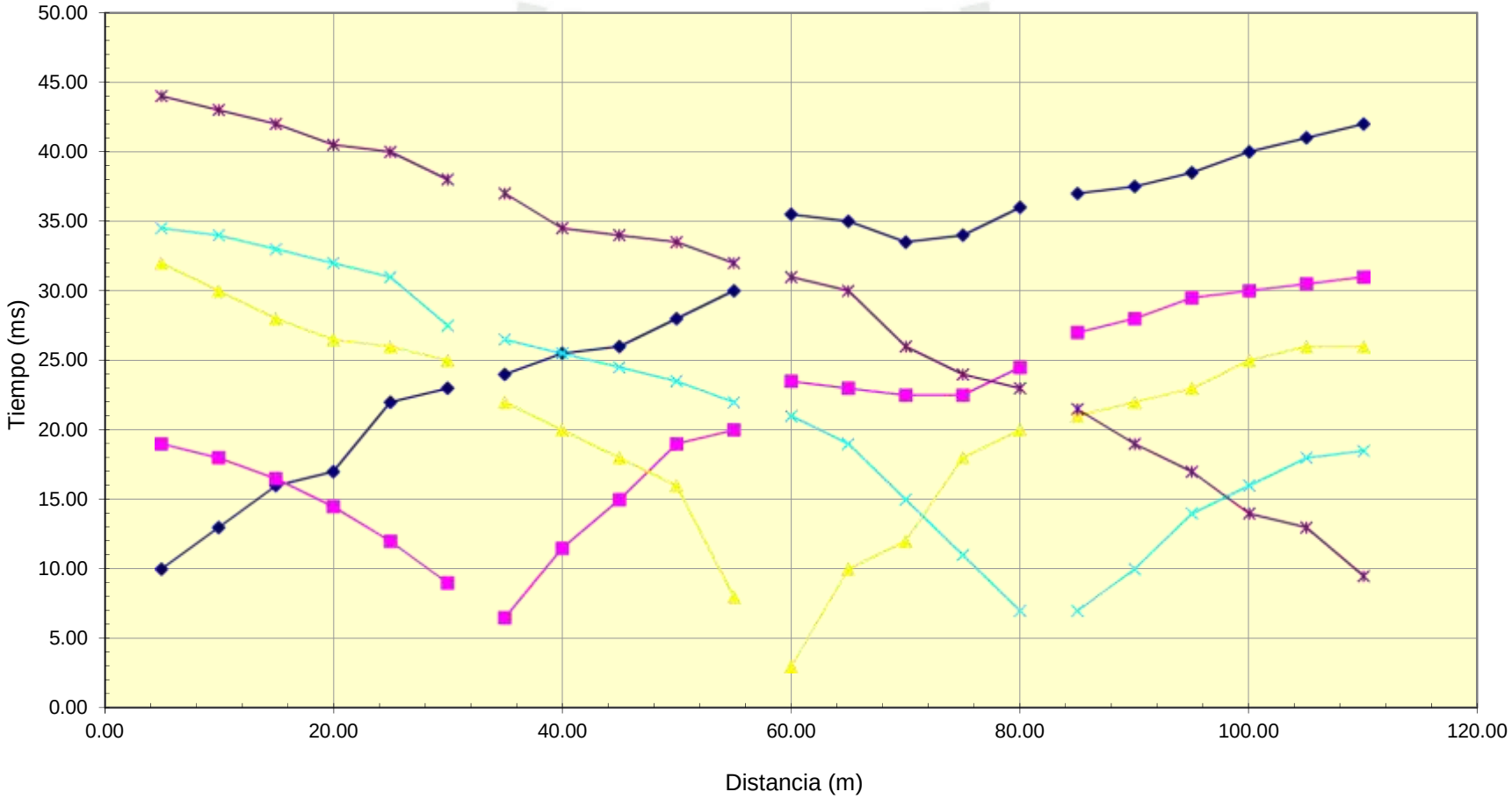
UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

LINEA 08

	Distancia (m)	Shot 08-01	Shot 08-02	Shot 08-03	Shot 08-04	Shot 08-05
Shot 08-01	**0.00**					
G-22	5.00	10.0	19.0	32.0	34.5	44.0
G-21	10.00	13.0	18.0	30.0	34.0	43.0
G-20	15.00	16.0	16.5	28.0	33.0	42.0
G-19	20.00	17.0	14.5	26.5	32.0	40.5
G-18	25.00	22.0	12.0	26.0	31.0	40.0
G-17	30.00	23.0	9.0	25.0	27.5	38.0
Shot 08-02	**32.50**					
G-16	35.00	24.0	6.5	22.0	26.5	37.0
G-15	40.00	25.5	11.5	20.0	25.5	34.5
G-14	45.00	26.0	15.0	18.0	24.5	34.0
G-13	50.00	28.0	19.0	16.0	23.5	33.5
G-1	55.00	30.0	20.0	8.0	22.0	32.0
Shot 08-03	**57.50**					
G-2	60.00	35.5	23.5	3.0	21.0	31.0
G-3	65.00	35.0	23.0	10.0	19.0	30.0
G-4	70.00	33.5	22.5	12.0	15.0	26.0
G-5	75.00	34.0	22.5	18.0	11.0	24.0
G-6	80.00	36.0	24.5	20.0	7.0	23.0
Shot 08-04	**82.50**					
G-7	85.00	37.0	27.0	21.0	7.0	21.5
G-8	90.00	37.5	28.0	22.0	10.0	19.0
G-9	95.00	38.5	29.5	23.0	14.0	17.0
G-10	100.00	40.0	30.0	25.0	16.0	14.0
G-11	105.00	41.0	30.5	26.0	18.0	13.0
G-12	110.00	42.0	31.0	26.0	18.5	9.5
Shot 08-05	**115.00**					

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

CHAMPAMARCA
DROMOCRONICA
LINEA 08



REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

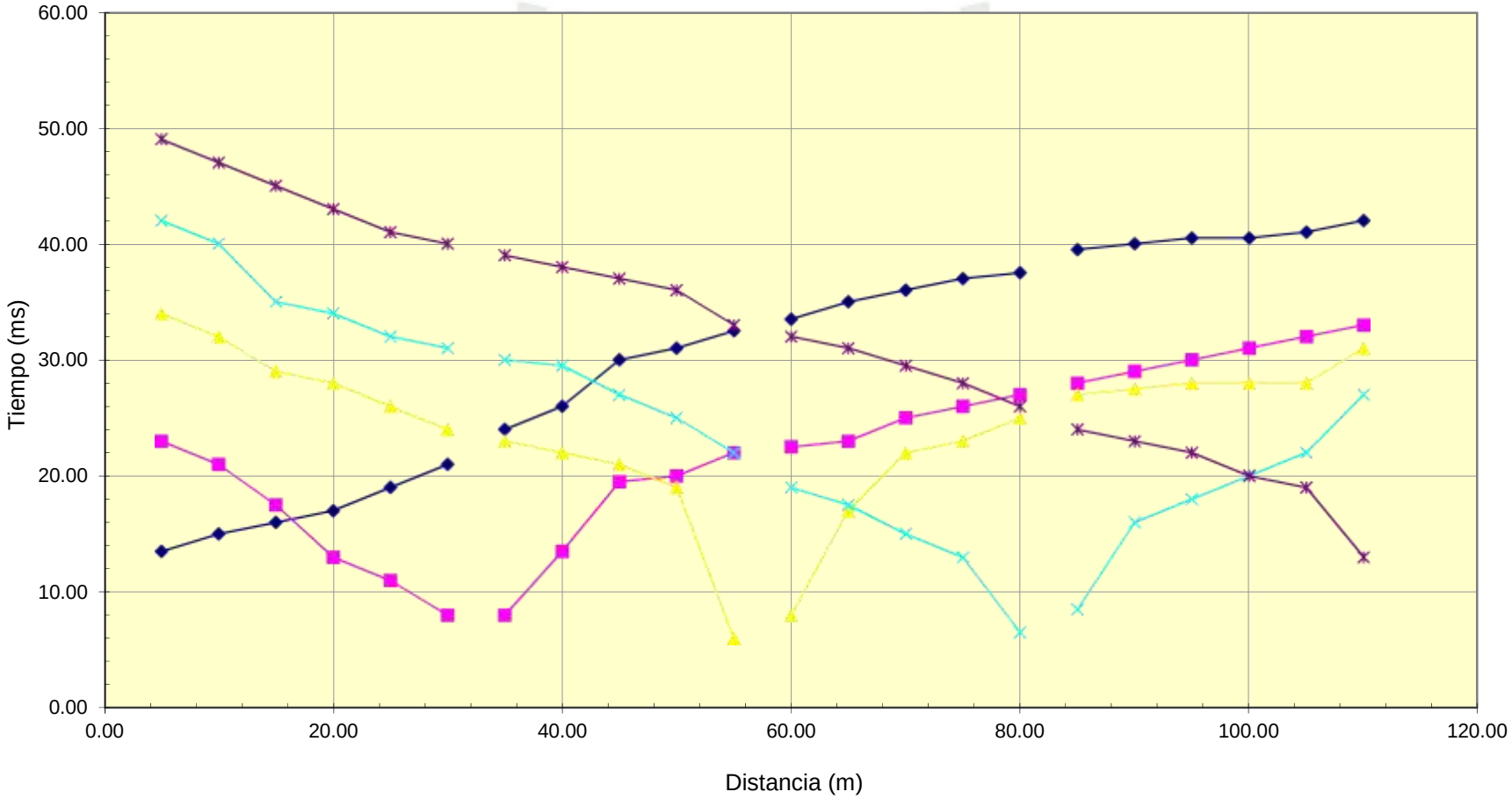
UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

LINEA 09

	Distancia (m)	Shot 09-01	Shot 09-02	Shot 09-03	Shot 09-04	Shot 09-05
Shot 09-01	**0.00**					
G-22	5.00	13.5	23.0	34.0	42.0	49.0
G-21	10.00	15.0	21.0	32.0	40.0	47.0
G-20	15.00	16.0	17.5	29.0	35.0	45.0
G-19	20.00	17.0	13.0	28.0	34.0	43.0
G-18	25.00	19.0	11.0	26.0	32.0	41.0
G-17	30.00	21.0	8.0	24.0	31.0	40.0
Shot 09-02	**32.50**					
G-16	35.00	24.0	8.0	23.0	30.0	39.0
G-15	40.00	26.0	13.5	22.0	29.5	38.0
G-14	45.00	30.0	19.5	21.0	27.0	37.0
G-13	50.00	31.0	20.0	19.0	25.0	36.0
G-1	55.00	32.5	22.0	6.0	22.0	33.0
Shot 09-03	**57.50**					
G-2	60.00	33.5	22.5	8.0	19.0	32.0
G-3	65.00	35.0	23.0	17.0	17.5	31.0
G-4	70.00	36.0	25.0	22.0	15.0	29.5
G-5	75.00	37.0	26.0	23.0	13.0	28.0
G-6	80.00	37.5	27.0	25.0	6.5	26.0
Shot 09-04	**82.50**					
G-7	85.00	39.5	28.0	27.0	8.5	24.0
G-8	90.00	40.0	29.0	27.5	16.0	23.0
G-9	95.00	40.5	30.0	28.0	18.0	22.0
G-10	100.00	40.5	31.0	28.0	20.0	20.0
G-11	105.00	41.0	32.0	28.0	22.0	19.0
G-12	110.00	42.0	33.0	31.0	27.0	13.0
Shot 09-05	**115.00**					

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

CHAMPAMARCA
DROMOCRONICA
LINEA 09



REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

ANEXO 03: REGISTROS DE ENSAYOS DE LABORATORIO

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

ANEXO 03.A: REGISTRO DE ENSAYOS ESTÁNDAR DE LABORATORIO

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

Tesis: *"Propuesta del Rediseño de Taludes para la Estabilidad Física en la Remediación y Cierre de un Depósito de Desmontes en Cerro de Pasco."*

Ubicación: *Cerro de Pasco - Perú*

ENSAYOS REALIZADOS POR: LABORATORIO TÉCNICO Y CONCRETO DE CESEL INGENIEROS

Ensayo	Método
Análisis Granulométrico por Tamizado	ASTM D422 - 63(2007) Standard Test Method for Particle-Size Analysis of Soils
Límites de Consistencia	ASTM D4318 - 10 Standard Test Methods for Liquid Limit, Plastic Limit, and Plasticity Index of Soils
Clasificación SUCS	ASTM D2487 - 11 Standard Practice for Classification of Soils for Engineering Purposes (Unified Soil Classification System)

Sondeo: *CAL-3* ***Muestra:*** *M-1* ***Profundidad (m):*** *0.00-1.20*

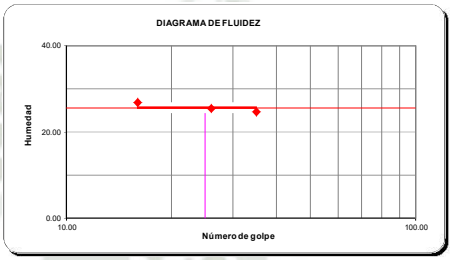
Condición de la muestra: Muestra Alterada ***Tipo de Material:*** Suelo

ANALISIS GRANULOMETRICO POR TAMIZADO

PORCENTAJE ACUMULADO QUE PASA (%)	Malla N°	Abertura (mm)	% que pasa
	3 "	76.200	100.0
	2 "	50.800	90.8
	1 1/2 "	38.100	88.4
	1 "	25.400	82.7
	3/4"	19.100	77.1
	3/8"	9.520	62.3
	Nº 4	4.760	48.5
	Nº 10	2.000	35.2
	Nº 20	0.840	27.4
	Nº 40	0.425	23.3
	Nº 60	0.250	21.1
	Nº 140	0.106	18.8
	Nº 200	0.075	18.2

LIMITES DE CONSISTENCIA

Límite Líquido (LL) (%):	26
Límite Plástico (LP) (%):	18
Índice Plástico (IP) (%):	8



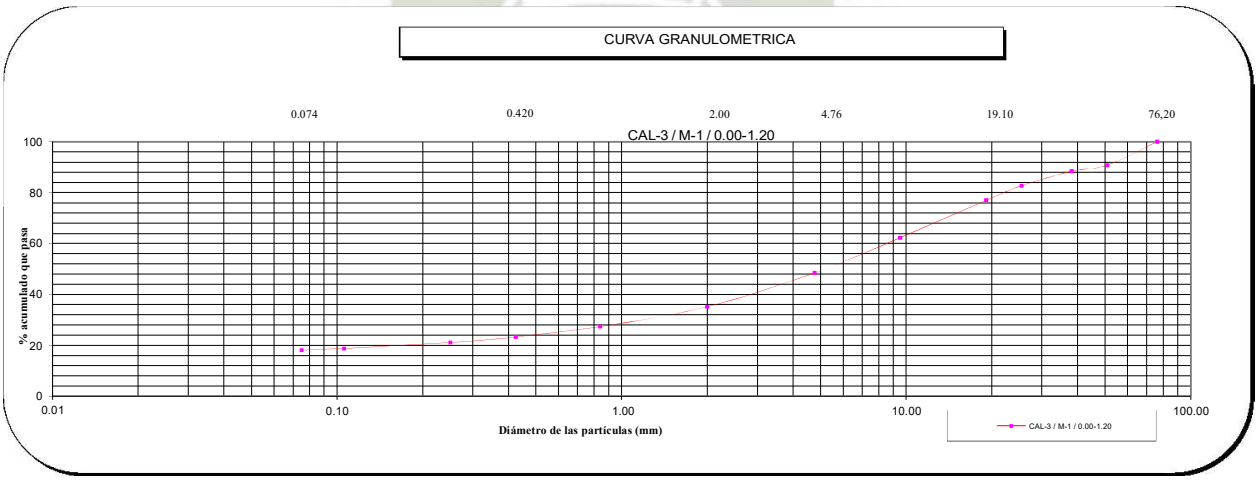
Distribución Granulométrica

% Grava	GG%	22.9
	GF%	28.6
% Arena	AG%	13.3
	AM%	11.9
	AF%	5.1
% Finos		18.20
Tamaño Máximo de la Grava (pulg)		3
Forma del suelo grueso		Sub-angular
Porcentaje retenido en la 3 pulg (%)		0
Coeficiente de Curvatura		---
Coeficiente de Uniformidad		---

Método de ensayo	Multipunto
Preparación de la muestra	Húmeda

Clasificación (S.U.C.S.)	
GC	Grava arcillosa con arena

Limo y Arcilla	Arena			Grava	
	Fina	Media	Gruesa	Fina	Gruesa



Observaciones

Muestra proviene de desmonte minero

Tipo de Preparación para ensayo Clasificación: Vía Húmeda

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Ensayo	Método
Análisis Granulométrico por Tamizado	ASTM D422 - 63(2007) Standard Test Method for Particle-Size Analysis of Soils
Límites de Consistencia	ASTM D4318 - 10 Standard Test Methods for Liquid Limit, Plastic Limit, and Plasticity Index of Soils
Clasificación SUCS	ASTM D2487 - 11 Standard Practice for Classification of Soils for Engineering Purposes (Unified Soil Classification System)

Sondeo: *CAL-4* ***Muestra:*** *M-1* ***Profundidad (m):*** *0.00-1.00*

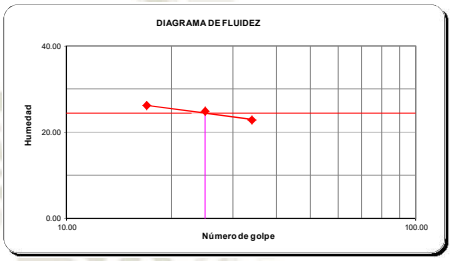
Condición de la muestra: Muestra Alterada ***Tipo de Material:*** Suelo

ANALISIS GRANULOMETRICO POR TAMIZADO

PORCENTAJE ACUMULADO QUE PASA (%)	Malla N°	Abertura (mm)	% que pasa
	3 "	76.200	100.0
	2 "	50.800	89.1
	1 1/2 "	38.100	84.9
	1 "	25.400	75.5
	3/4"	19.100	71.9
	3/8"	9.520	65.8
	Nº 4	4.760	60.1
	Nº 10	2.000	52.1
	Nº 20	0.840	45.1
	Nº 40	0.425	39.9
	Nº 60	0.250	36.3
	Nº 140	0.106	33.1
	Nº 200	0.075	33.0

LIMITES DE CONSISTENCIA

Límite Líquido (LL) (%):	24
Límite Plástico (LP) (%):	19
Índice Plástico (IP) (%):	5



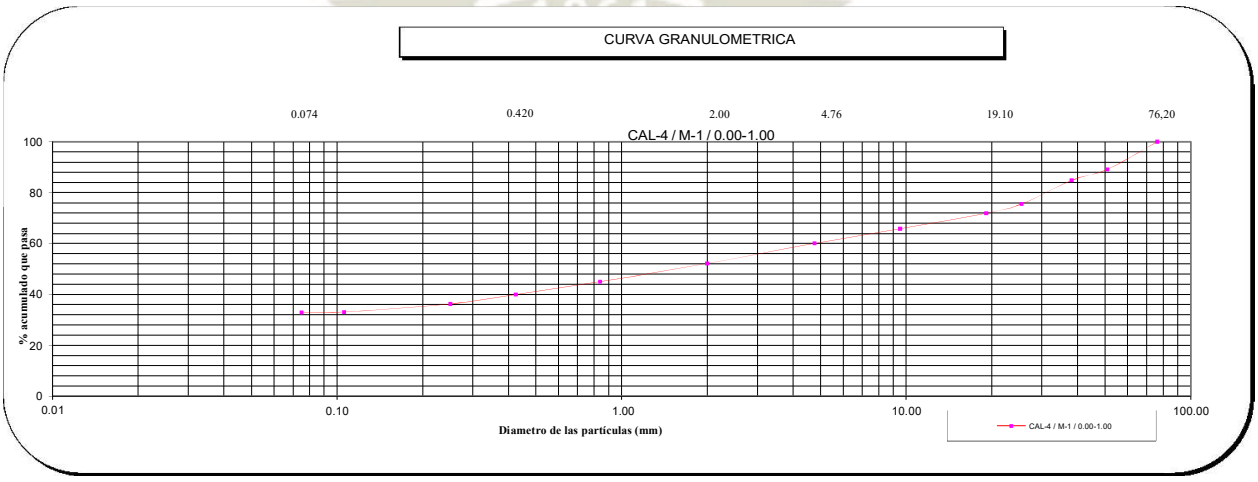
Distribución Granulométrica

% Grava	GG%	28.1
	GF%	11.8
% Arena	AG%	8.0
	AM%	12.2
	AF%	6.9
% Finos		33.00
Tamaño Máximo de la Grava (pulg)		3
Forma del suelo grueso		Sub-angular
Porcentaje retenido en la 3 pulg (%)		0
Coeficiente de Curvatura		---
Coeficiente de Uniformidad		---

Método de ensayo	Multipunto
Preparación de la muestra	Húmeda

Clasificación (S.U.C.S.)	
GC - GM	Grava limosa arcillosa con arena

Limo y Arcilla	Arena			Grava	
	Fina	Media	Gruesa	Fina	Gruesa



Observaciones

Muestra proviene de desmonte minero

Tipo de Preparación para ensayo Clasificación: Vía Húmeda

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Ensayo	Método
Análisis Granulométrico por Tamizado	ASTM D422 - 63(2007) Standard Test Method for Particle-Size Analysis of Soils
Límites de Consistencia	ASTM D4318 - 10 Standard Test Methods for Liquid Limit, Plastic Limit, and Plasticity Index of Soils
Clasificación SUCS	ASTM D2487 - 11 Standard Practice for Classification of Soils for Engineering Purposes (Unified Soil Classification System)

Sondeo: *CAL-5* ***Muestra:*** *M-1* ***Profundidad (m):*** *0.30-1.00*

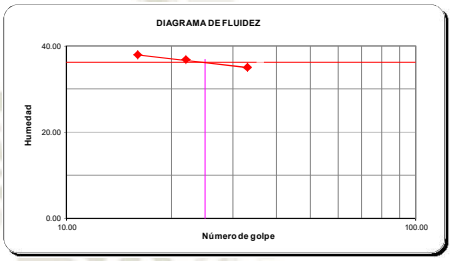
Condición de la muestra: Muestra Alterada ***Tipo de Material:*** Suelo

ANALISIS GRANULOMETRICO POR TAMIZADO

PORCENTAJE ACUMULADO QUE PASA (%)	Malla N°	Abertura (mm)	% que pasa
	3 "	76.200	100.0
	2 "	50.800	100.0
	1 1/2 "	38.100	98.5
	1 "	25.400	89.3
	3/4"	19.100	83.1
	3/8"	9.520	68.8
	Nº 4	4.760	57.0
	Nº 10	2.000	44.9
	Nº 20	0.840	35.5
	Nº 40	0.425	30.2
	Nº 60	0.250	26.7
	Nº 140	0.106	23.3
	Nº 200	0.075	22.6

LIMITES DE CONSISTENCIA

Límite Líquido (LL) (%):	36
Límite Plástico (LP) (%):	28
Índice Plástico (IP) (%):	8



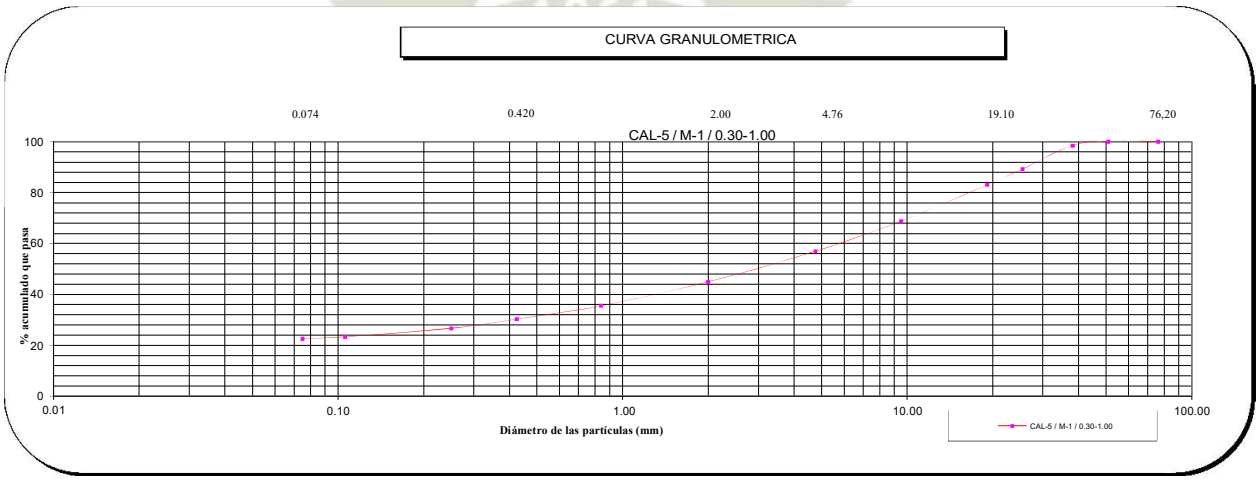
Distribución Granulométrica

% Grava	GG%	16.9
	GF%	26.1
% Arena	AG%	12.1
	AM%	14.7
	AF%	7.6
% Finos		22.60
Tamaño Máximo de la Grava (pulg)		2
Forma del suelo grueso		Sub-angular
Porcentaje retenido en la 3 pulg (%)		0
Coeficiente de Curvatura		---
Coeficiente de Uniformidad		---

Método de ensayo	Multipunto
Preparación de la muestra	Húmeda

Clasificación (S.U.C.S.)	
GM	Grava limosa con arena

Limo y Arcilla	Arena			Grava	
	Fina	Media	Gruesa	Fina	Gruesa



Observaciones

Muestra proviene de desmonte minero

Tipo de Preparación para ensayo Clasificación: Vía Húmeda

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

Ensayo	Método
Análisis Granulométrico por Tamizado	ASTM D422 - 63(2007) Standard Test Method for Particle-Size Analysis of Soils
Límites de Consistencia	ASTM D4318 - 10 Standard Test Methods for Liquid Limit, Plastic Limit, and Plasticity Index of Soils
Clasificación SUCS	ASTM D2487 - 11 Standard Practice for Classification of Soils for Engineering Purposes (Unified Soil Classification System)

Sondeo: *CAL-6* ***Muestra:*** *M-1* ***Profundidad (m):*** *0.10-1.20*

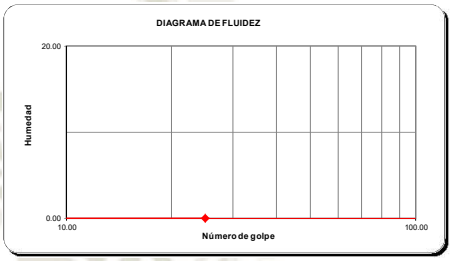
Condición de la muestra: Muestra Alterada ***Tipo de Material:*** Suelo

ANALISIS GRANULOMETRICO POR TAMIZADO

PORCENTAJE ACUMULADO QUE PASA (%)	Malla N°	Abertura (mm)	% que pasa
	3 "	76.200	100.0
	2 "	50.800	77.5
	1 1/2 "	38.100	52.5
	1 "	25.400	36.2
	3/4"	19.100	32.4
	3/8"	9.520	21.4
	Nº 4	4.760	15.0
	Nº 10	2.000	10.9
	Nº 20	0.840	8.8
	Nº 40	0.425	7.7
	Nº 60	0.250	7.0
	Nº 140	0.106	5.9
	Nº 200	0.075	5.5

LIMITES DE CONSISTENCIA

Límite Líquido (LL) (%):	-
Límite Plástico (LP) (%):	NP
Índice Plástico (IP) (%):	NP



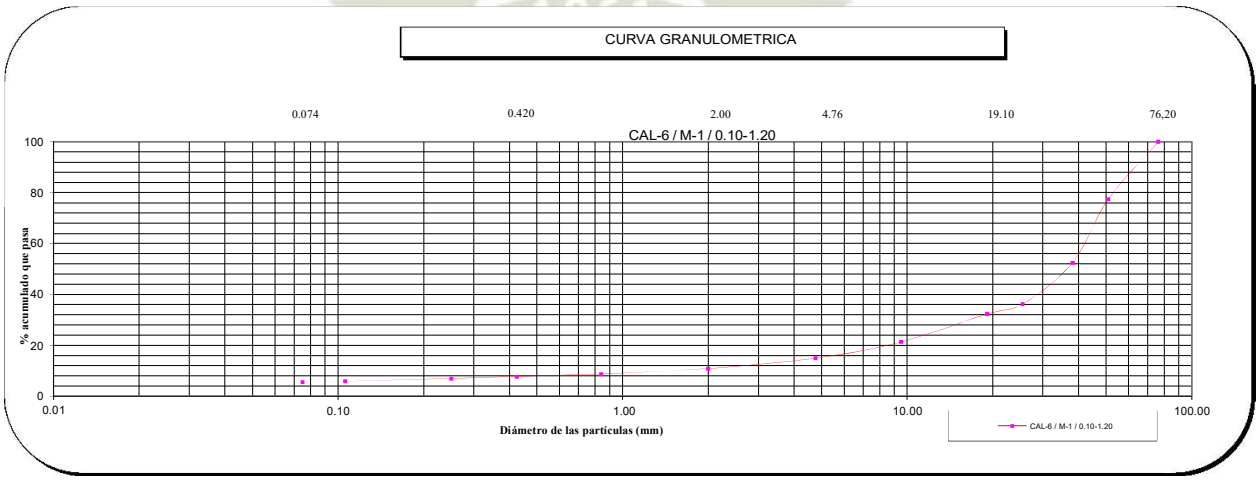
Distribución Granulométrica

% Grava	GG%	67.6
	GF%	17.4
% Arena	AG%	4.1
	AM%	3.2
	AF%	2.2
% Finos		5.50
Tamaño Máximo de la Grava (pulg)		3
Forma del suelo grueso		Sub-angular
Porcentaje retenido en la 3 pulg (%)		0
Coeficiente de Curvatura		4.70
Coeficiente de Uniformidad		30.12

Método de ensayo	Multipunto
Preparación de la muestra	Húmeda

Clasificación (S.U.C.S.)	
GP - GM	Grava pobremente graduada con limo

Limo y Arcilla	Arena			Grava	
	Fina	Media	Gruesa	Fina	Gruesa



Observaciones

Muestra proviene de desmonte minero

Tipo de Preparación para ensayo Clasificación: Vía Húmeda

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Ensayo	Método
Análisis Granulométrico por Tamizado	ASTM D422 - 63(2007) Standard Test Method for Particle-Size Analysis of Soils
Límites de Consistencia	ASTM D4318 - 10 Standard Test Methods for Liquid Limit, Plastic Limit, and Plasticity Index of Soils
Clasificación SUCS	ASTM D2487 - 11 Standard Practice for Classification of Soils for Engineering Purposes (Unified Soil Classification System)

Sondeo: *CAL-7* ***Muestra:*** *M-1* ***Profundidad (m):*** *0.00-0.70*

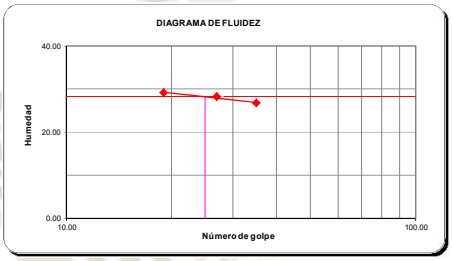
Condición de la muestra: Muestra Alterada ***Tipo de Material:*** Suelo

ANALISIS GRANULOMETRICO POR TAMIZADO

PORCENTAJE ACUMULADO QUE PASA (%)	Malla N°	Abertura (mm)	% que pasa
	3 "	76.200	100.0
	2 "	50.800	85.5
	1 1/2 "	38.100	76.0
	1 "	25.400	67.5
	3/4"	19.100	63.1
	3/8"	9.520	52.9
	Nº 4	4.760	44.2
	Nº 10	2.000	35.5
	Nº 20	0.840	28.9
	Nº 40	0.425	24.3
	Nº 60	0.250	21.0
	Nº 140	0.106	17.0
	Nº 200	0.075	16.0

LIMITES DE CONSISTENCIA

Límite Líquido (LL) (%):	28
Límite Plástico (LP) (%):	22
Índice Plástico (IP) (%):	6



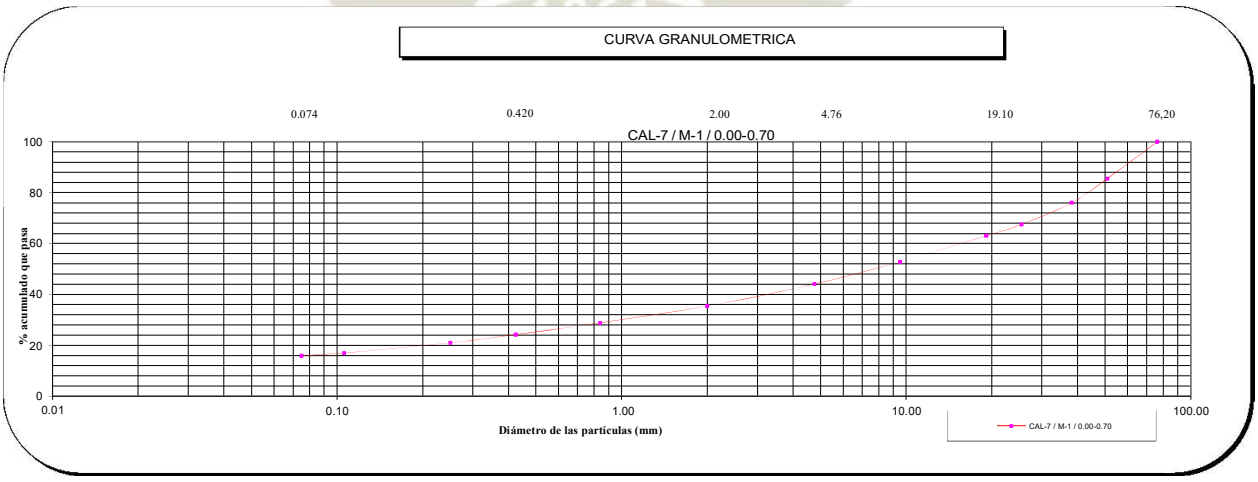
Distribución Granulométrica

% Grava	GG%	36.9
	GF%	18.9
% Arena	AG%	8.7
	AM%	11.2
	AF%	8.3
% Finos		16.00
Tamaño Máximo de la Grava (pulg)		3
Forma del suelo grueso		Sub-angular
Porcentaje retenido en la 3 pulg (%)		0
Coeficiente de Curvatura		---
Coeficiente de Uniformidad		---

Método de ensayo	Multipunto
Preparación de la muestra	Húmeda

Clasificación (S.U.C.S.)	
GC - GM	Grava limosa arcillosa con arena

Limo y Arcilla	Arena			Grava	
	Fina	Media	Gruesa	Fina	Gruesa



Observaciones

Muestra proviene de desmonte minero

Tipo de Preparación para ensayo Clasificación: Via Húmeda

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

Ensayo	Método
Análisis Granulométrico por Tamizado	ASTM D422 - 63(2007) Standard Test Method for Particle-Size Analysis of Soils
Límites de Consistencia	ASTM D4318 - 10 Standard Test Methods for Liquid Limit, Plastic Limit, and Plasticity Index of Soils
Clasificación SUCS	ASTM D2487 - 11 Standard Practice for Classification of Soils for Engineering Purposes (Unified Soil Classification System)

Sondeo: *CAL-7* ***Muestra:*** *M-2* ***Profundidad (m):*** *0.70-1.10*

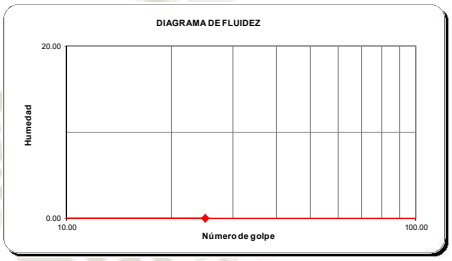
Condición de la muestra: Muestra Alterada ***Tipo de Material:*** Suelo

ANALISIS GRANULOMETRICO POR TAMIZADO

PORCENTAJE ACUMULADO QUE PASA (%)	Malla N°	Abertura (mm)	% que pasa
	3 "	76.200	100.0
	2 "	50.800	100.0
	1 1/2 "	38.100	100.0
	1 "	25.400	95.7
	3/4"	19.100	90.8
	3/8"	9.520	74.6
	Nº 4	4.760	59.1
	Nº 10	2.000	41.9
	Nº 20	0.840	27.9
	Nº 40	0.425	18.7
	Nº 60	0.250	13.9
	Nº 140	0.106	9.4
	Nº 200	0.075	8.8

LIMITES DE CONSISTENCIA

Límite Líquido (LL) (%):	-
Límite Plástico (LP) (%):	NP
Índice Plástico (IP) (%):	NP



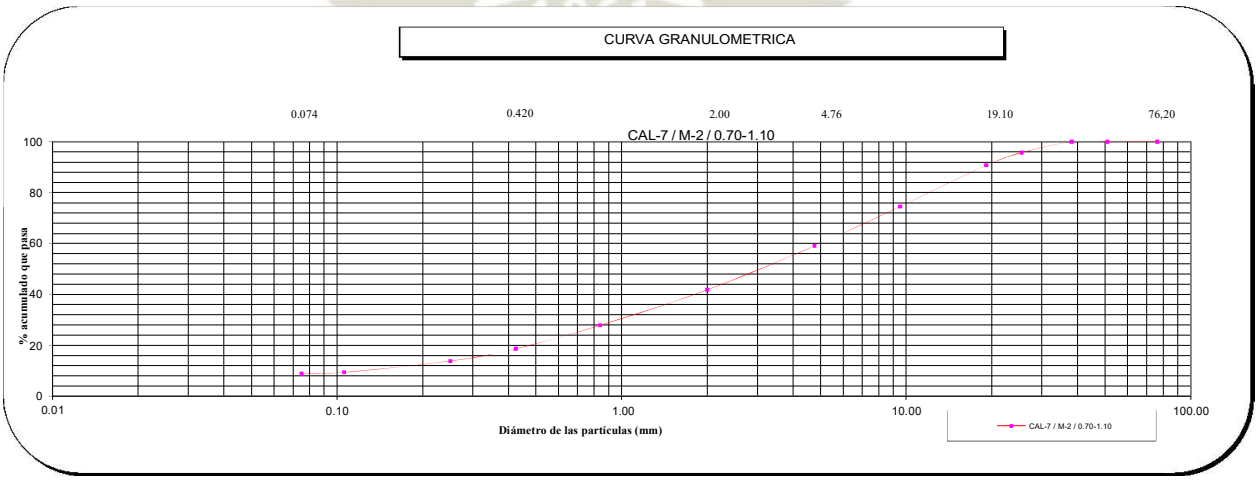
Distribución Granulométrica

% Grava	GG%	9.2
	GF%	31.7
% Arena	AG%	17.2
	AM%	23.2
	AF%	9.9
% Finos		8.80
Tamaño Máximo de la Grava (pulg)		1 1/2
Forma del suelo grueso		Sub-angular
Porcentaje retenido en la 3 pulg (%)		0
Coeficiente de Curvatura		1.55
Coeficiente de Uniformidad		41.70

Método de ensayo	-
Preparación de la muestra	-

Clasificación (S.U.C.S.)	
SW - SM	Arena bien graduada con limo y grava

Limo y Arcilla	Arena			Grava	
	Fina	Media	Gruesa	Fina	Gruesa



Observaciones

Muestra proviene de desmonte minero

Tipo de Preparación para ensayo Clasificación: Via Húmeda

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Ensayo	Método
Análisis Granulométrico por Tamizado	ASTM D422 - 63(2007) Standard Test Method for Particle-Size Analysis of Soils
Límites de Consistencia	ASTM D4318 - 10 Standard Test Methods for Liquid Limit, Plastic Limit, and Plasticity Index of Soils
Clasificación SUCS	ASTM D2487 - 11 Standard Practice for Classification of Soils for Engineering Purposes (Unified Soil Classification System)

Sondeo: *TRI-1* ***Muestra:*** *M-1* ***Profundidad (m):*** *0.20-0.60*

Condición de la muestra: Muestra Alterada ***Tipo de Material:*** Suelo

ANALISIS GRANULOMETRICO POR TAMIZADO

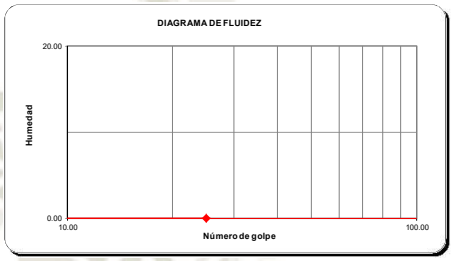
	Malla N°	Abertura (mm)	% que pasa
PORCENTAJE ACUMULADO QUE PASA (%)	3 "	76.200	100.0
	2 "	50.800	91.6
	1 1/2 "	38.100	87.9
	1 "	25.400	82.4
	3/4"	19.100	78.3
	3/8"	9.520	58.8
	Nº 4	4.760	44.0
	Nº 10	2.000	31.4
	Nº 20	0.840	24.4
	Nº 40	0.425	20.5
	Nº 60	0.250	17.4
	Nº 140	0.106	13.1
	Nº 200	0.075	11.7

LIMITES DE CONSISTENCIA

Límite Líquido (LL) (%): -

Límite Plástico (LP) (%): NP

Índice Plástico (IP) (%): NP



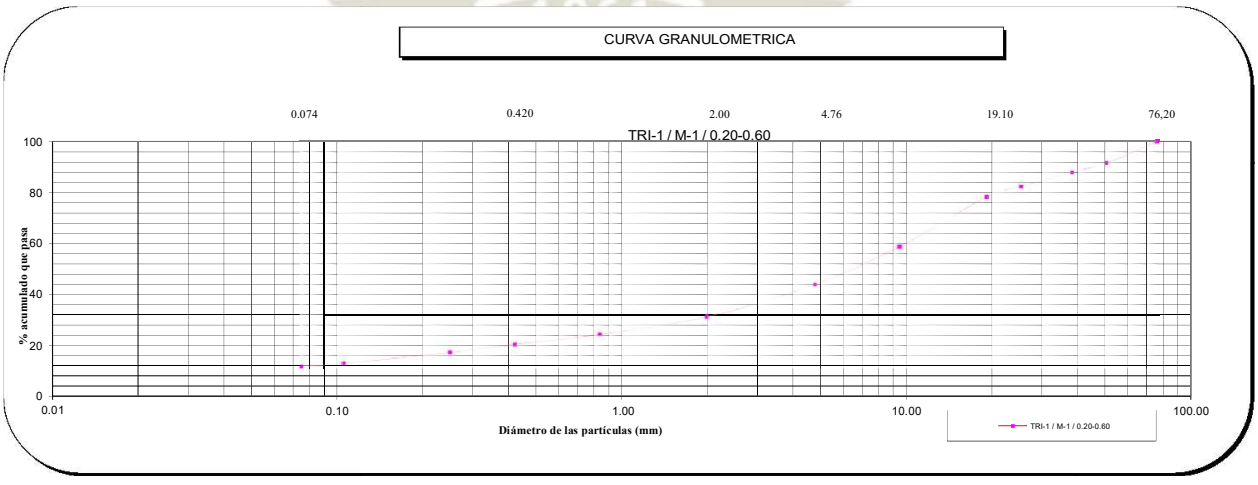
Distribución Granulométrica

% Grava	GG%	21.7
	GF%	34.3
% Arena	AG%	12.6
	AM%	10.9
	AF%	8.8
% Finos		11.70
Tamaño Máximo de la Grava (pulg)		3
Forma del suelo grueso		Sub-angular
Porcentaje retenido en la 3 pulg (%)		0
Coeficiente de Curvatura		6.78
Coeficiente de Uniformidad		236.93

Método de ensayo	-
Preparación de la muestra	-

Clasificación (S.U.C.S.)	
GP - GM	Grava pobremente graduada con limo y arena

Limo y Arcilla	Arena			Grava	
	Fina	Media	Gruesa	Fina	Gruesa



Observaciones

Muestra proviene de desmonte minero

Tipo de Preparación para ensayo Clasificación: Vía Húmeda

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

Ensayo	Método
Análisis Granulométrico por Tamizado	ASTM D422 - 63(2007) Standard Test Method for Particle-Size Analysis of Soils
Límites de Consistencia	ASTM D4318 - 10 Standard Test Methods for Liquid Limit, Plastic Limit, and Plasticity Index of Soils
Clasificación SUCS	ASTM D2487 - 11 Standard Practice for Classification of Soils for Engineering Purposes (Unified Soil Classification System)

Sondeo: *TRI-1* ***Muestra:*** *M-2* ***Profundidad (m):*** *0.60-2.50*

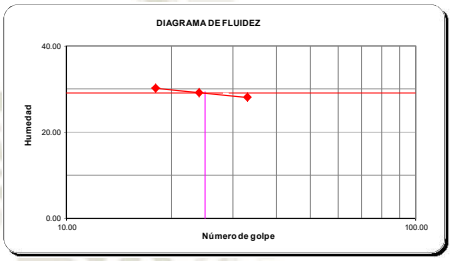
Condición de la muestra: Muestra Alterada ***Tipo de Material:*** Suelo

ANALISIS GRANULOMETRICO POR TAMIZADO

PORCENTAJE ACUMULADO QUE PASA (%)	Malla N°	Abertura (mm)	% que pasa
	3 "	76.200	100.0
	2 "	50.800	89.0
	1 1/2 "	38.100	83.5
	1 "	25.400	72.6
	3/4"	19.100	61.6
	3/8"	9.520	46.4
	Nº 4	4.760	35.3
	Nº 10	2.000	27.3
	Nº 20	0.840	22.7
	Nº 40	0.425	20.0
	Nº 60	0.250	18.1
	Nº 140	0.106	16.2
	Nº 200	0.075	16.0

LIMITES DE CONSISTENCIA

Límite Líquido (LL) (%):	29
Límite Plástico (LP) (%):	22
Índice Plástico (IP) (%):	7



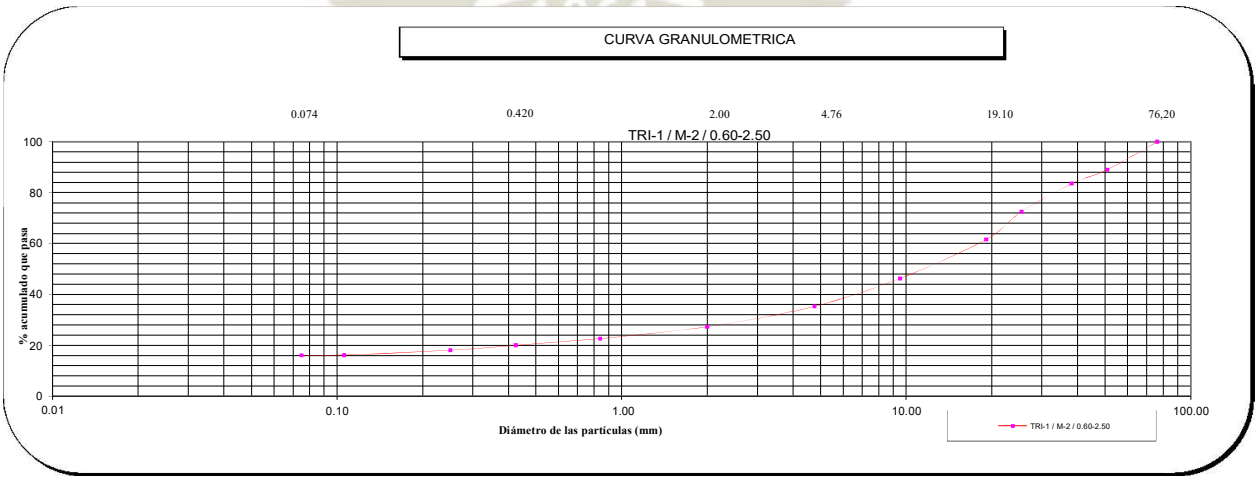
Distribución Granulométrica

% Grava	GG%	38.4
	GF%	26.3
% Arena	AG%	8.0
	AM%	7.3
	AF%	4.0
% Finos		16.00
Tamaño Máximo de la Grava (pulg)		3
Forma del suelo grueso		Sub-angular
Porcentaje retenido en la 3 pulg (%)		0
Coeficiente de Curvatura		---
Coeficiente de Uniformidad		---

Método de ensayo	Multipunto
Preparación de la muestra	Húmeda

Clasificación (S.U.C.S.)	
GC	Grava arcillosa con arena

Limo y Arcilla	Arena			Grava	
	Fina	Media	Gruesa	Fina	Gruesa



Observaciones

Muestra proviene de desmonte minero

Tipo de Preparación para ensayo Clasificación: Vía Húmeda

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

Ensayo	Método
Análisis Granulométrico por Tamizado	ASTM D422 - 63(2007) Standard Test Method for Particle-Size Analysis of Soils
Límites de Consistencia	ASTM D4318 - 10 Standard Test Methods for Liquid Limit, Plastic Limit, and Plasticity Index of Soils
Clasificación SUCS	ASTM D2487 - 11 Standard Practice for Classification of Soils for Engineering Purposes (Unified Soil Classification System)

Sondeo: *TRI-2* ***Muestra:*** *M-1* ***Profundidad (m):*** *0.30-3.00*

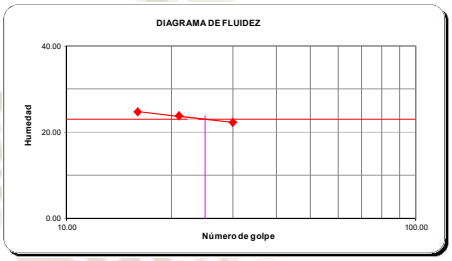
Condición de la muestra: Muestra Alterada ***Tipo de Material:*** Suelo

ANALISIS GRANULOMETRICO POR TAMIZADO

PORCENTAJE ACUMULADO QUE PASA (%)	Malla N°	Abertura (mm)	% que pasa
	3 "	76.200	100.0
	2 "	50.800	93.1
	1 1/2 "	38.100	87.8
	1 "	25.400	79.3
	3/4"	19.100	72.4
	3/8"	9.520	55.4
	Nº 4	4.760	43.1
	Nº 10	2.000	33.0
	Nº 20	0.840	26.2
	Nº 40	0.425	22.5
	Nº 60	0.250	20.2
	Nº 140	0.106	17.4
	Nº 200	0.075	16.6

LIMITES DE CONSISTENCIA

Límite Líquido (LL) (%):	23
Límite Plástico (LP) (%):	17
Índice Plástico (IP) (%):	6



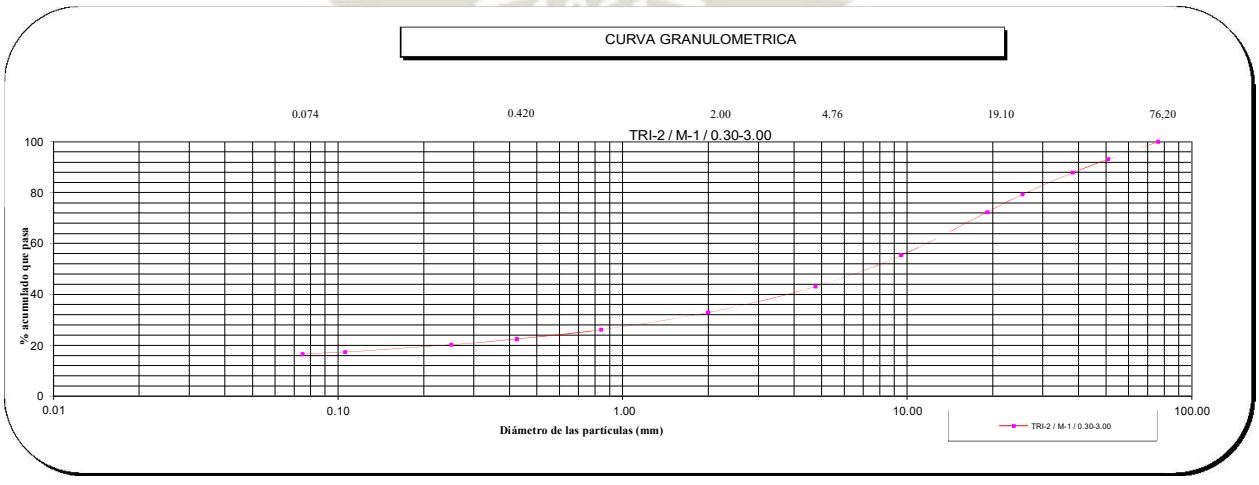
Distribución Granulométrica

% Grava	GG%	27.6
	GF%	29.3
% Arena	AG%	10.1
	AM%	10.5
	AF%	5.9
% Finos		16.60
Tamaño Máximo de la Grava (pulg)		3
Forma del suelo grueso		Sub-angular
Porcentaje retenido en la 3 pulg (%)		0
Coeficiente de Curvatura		---
Coeficiente de Uniformidad		---

Método de ensayo	Multipunto
Preparación de la muestra	Húmeda

Clasificación (S.U.C.S.)	
GC - GM	Grava limosa arcillosa con arena

Limo y Arcilla	Arena			Grava	
	Fina	Media	Gruesa	Fina	Gruesa



Observaciones

Muestra proviene de desmonte minero

Tipo de Preparación para ensayo Clasificación: Vía Húmeda

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

Ensayo	Método
Análisis Granulométrico por Tamizado	ASTM D422 - 63(2007) Standard Test Method for Particle-Size Analysis of Soils
Límites de Consistencia	ASTM D4318 - 10 Standard Test Methods for Liquid Limit, Plastic Limit, and Plasticity Index of Soils
Clasificación SUCS	ASTM D2487 - 11 Standard Practice for Classification of Soils for Engineering Purposes (Unified Soil Classification System)

Sondeo: *TRI-3* ***Muestra:*** *M-1* ***Profundidad (m):*** *0.00-3.00*

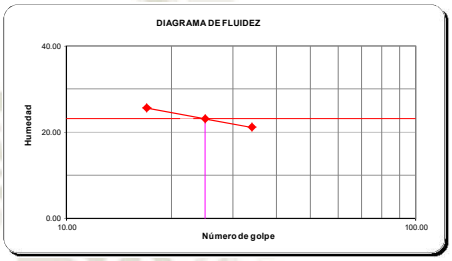
Condición de la muestra: Muestra Alterada ***Tipo de Material:*** Suelo

ANALISIS GRANULOMETRICO POR TAMIZADO

PORCENTAJE ACUMULADO QUE PASA (%)	Malla N°	Abertura (mm)	% que pasa
	3 "	76.200	100.0
	2 "	50.800	86.4
	1 1/2 "	38.100	78.1
	1 "	25.400	69.4
	3/4"	19.100	63.4
	3/8"	9.520	49.1
	Nº 4	4.760	37.1
	Nº 10	2.000	26.4
	Nº 20	0.840	19.9
	Nº 40	0.425	16.6
	Nº 60	0.250	14.8
	Nº 140	0.106	12.7
	Nº 200	0.075	12.4

LIMITES DE CONSISTENCIA

Límite Líquido (LL) (%):	24
Límite Plástico (LP) (%):	18
Índice Plástico (IP) (%):	6



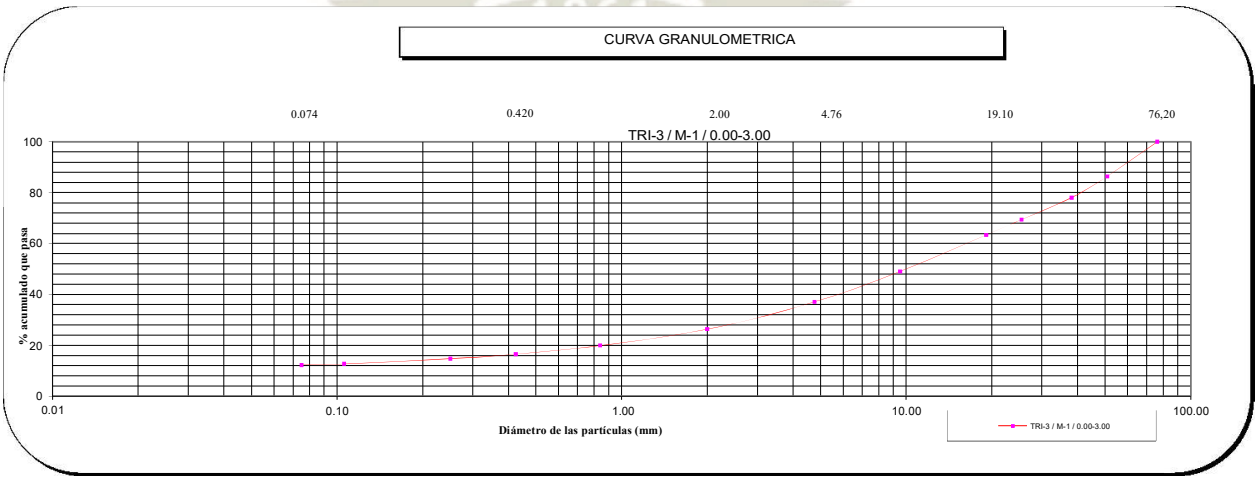
Distribución Granulométrica

% Grava	GG%	36.6
	GF%	26.3
% Arena	AG%	10.7
	AM%	9.8
	AF%	4.2
% Finos		12.40
Tamaño Máximo de la Grava (pulg)		3
Forma del suelo grueso		Sub-angular
Porcentaje retenido en la 3 pulg (%)		0
Coeficiente de Curvatura		---
Coeficiente de Uniformidad		---

Método de ensayo	Multipunto
Preparación de la muestra	Húmeda

Clasificación (S.U.C.S.)	
GC - GM	Grava limosa arcillosa con arena

Limo y Arcilla	Arena			Grava	
	Fina	Media	Gruesa	Fina	Gruesa



Observaciones

Muestra proviene de desmonte minero

Tipo de Preparación para ensayo Clasificación: Vía Húmeda

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

Ensayo	Método
Análisis Granulométrico por Tamizado	ASTM D422 - 63(2007) Standard Test Method for Particle-Size Analysis of Soils
Límites de Consistencia	ASTM D4318 - 10 Standard Test Methods for Liquid Limit, Plastic Limit, and Plasticity Index of Soils
Clasificación SUCS	ASTM D2487 - 11 Standard Practice for Classification of Soils for Engineering Purposes (Unifi ed Soil Classification System)

Sondeo: *CAL-1* ***Muestra:*** *M-2* ***Profundidad (m):*** *1.00-2.00*

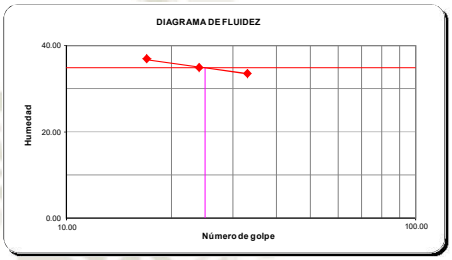
Condición de la muestra: Muestra Alterada ***Tipo de Material:*** Suelo

ANALISIS GRANULOMETRICO POR TAMIZADO

	Malla N°	Abertura (mm)	% que pasa
PORCENTAJE ACUMULADO QUE PASA (%)	3 "	76.200	100.0
	2 "	50.800	85.0
	1 1/2 "	38.100	78.7
	1 "	25.400	73.5
	3/4"	19.100	65.9
	3/8"	9.520	58.5
	Nº 4	4.760	51.2
	Nº 10	2.000	43.6
	Nº 20	0.840	38.5
	Nº 40	0.425	35.5
	Nº 60	0.250	33.6
	Nº 140	0.106	30.9
	Nº 200	0.075	30.1

LIMITES DE CONSISTENCIA

Límite Líquido (LL) (%):	35
Límite Plástico (LP) (%):	22
Índice Plástico (IP) (%):	13



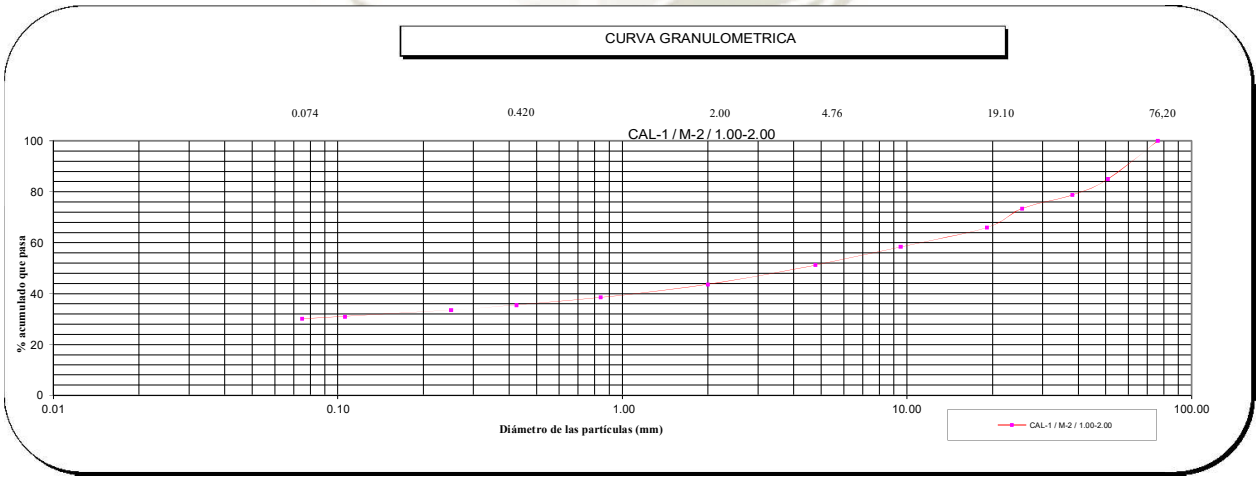
Distribución Granulométrica

% Grava	GG%	34.1
	GF%	14.7
% Arena	AG%	7.6
	AM%	8.1
	AF%	5.4
% Finos		30.10
Tamaño Máximo de la Grava (pulg)		3
Forma del suelo grueso		Sub-angular
Porcentaje retenido en la 3 pulg (%)		0
Coeficiente de Curvatura		---
Coeficiente de Uniformidad		---

Método de ensayo	Multipunto
Preparación de la muestra	Húmeda

Clasificación (S.U.C.S.)	
GC	Grava arcillosa con arena

Limo y Arcilla	Arena			Grava	
	Fina	Media	Gruesa	Fina	Gruesa



Observaciones

Muestra proviene de desmonte minero

Tipo de Preparación para ensayo Clasificación: Vía Húmeda

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Ensayo	Método
Análisis Granulométrico por Tamizado	ASTM D422 - 63(2007) Standard Test Method for Particle-Size Analysis of Soils
Límites de Consistencia	ASTM D4318 - 10 Standard Test Methods for Liquid Limit, Plastic Limit, and Plasticity Index of Soils
Clasificación SUCS	ASTM D2487 - 11 Standard Practice for Classification of Soils for Engineering Purposes (Unified Soil Classification System)

Sondeo: *CAL-1* ***Muestra:*** *M-1* ***Profundidad (m):*** *0.00-1.00*

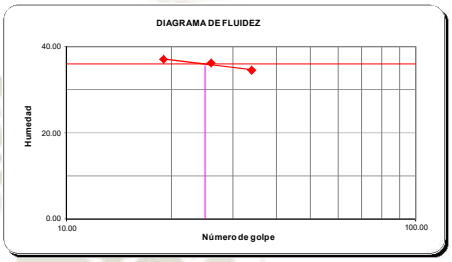
Condición de la muestra: Muestra Alterada ***Tipo de Material:*** Suelo

ANALISIS GRANULOMETRICO POR TAMIZADO

PORCENTAJE ACUMULADO QUE PASA (%)	Malla N°	Abertura (mm)	% que pasa
	3 "	76.200	100.0
	2 "	50.800	100.0
	1 1/2 "	38.100	97.6
	1 "	25.400	94.6
	3/4"	19.100	90.3
	3/8"	9.520	80.5
	Nº 4	4.760	71.1
	Nº 10	2.000	60.6
	Nº 20	0.840	53.5
	Nº 40	0.425	49.5
	Nº 60	0.250	46.4
	Nº 140	0.106	41.8
	Nº 200	0.075	40.6

LIMITES DE CONSISTENCIA

Límite Líquido (LL) (%):	36
Límite Plástico (LP) (%):	24
Índice Plástico (IP) (%):	12



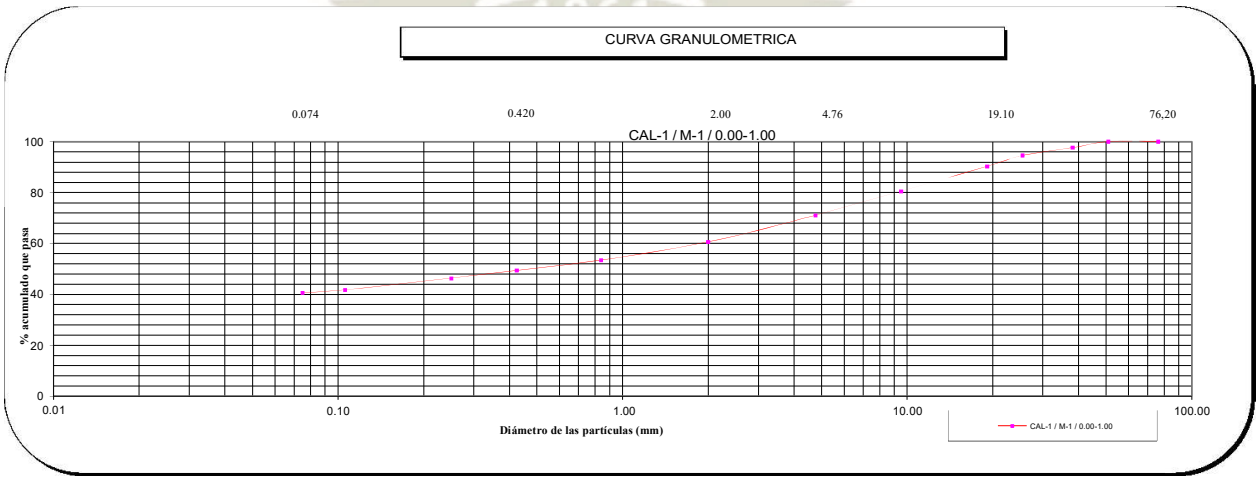
Distribución Granulométrica

% Grava	GG%	9.7
	GF%	19.2
% Arena	AG%	10.5
	AM%	11.1
	AF%	8.9
% Finos		40.60
Tamaño Máximo de la Grava (pulg)		2
Forma del suelo grueso		Sub-angular
Porcentaje retenido en la 3 pulg (%)		0
Coeficiente de Curvatura		---
Coeficiente de Uniformidad		---

Método de ensayo	Multipunto
Preparación de la muestra	Húmeda

Clasificación (S.U.C.S.)	
SC	Arena arcillosa con grava

Limo y Arcilla	Arena			Grava	
	Fina	Media	Gruesa	Fina	Gruesa



Observaciones

Muestra proviene de desmonte minero

Tipo de Preparación para ensayo Clasificación: Vía Húmeda

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

Ensayo	Método
Análisis Granulométrico por Tamizado	ASTM D422 - 63(2007) Standard Test Method for Particle-Size Analysis of Soils
Límites de Consistencia	ASTM D4318 - 10 Standard Test Methods for Liquid Limit, Plastic Limit, and Plasticity Index of Soils
Clasificación SUCS	ASTM D2487 - 11 Standard Practice for Classification of Soils for Engineering Purposes (Unified Soil Classification System)

Sondeo: *CAL-2* ***Muestra:*** *M-1* ***Profundidad (m):*** *0.00-0.45*

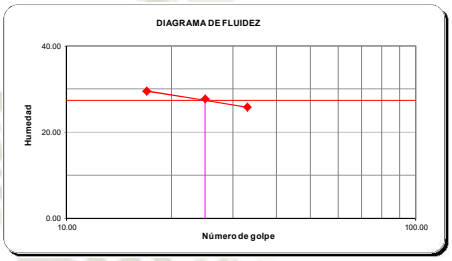
Condición de la muestra: Muestra Alterada ***Tipo de Material:*** Suelo

ANALISIS GRANULOMETRICO POR TAMIZADO

PORCENTAJE ACUMULADO QUE PASA (%)	Malla N°	Abertura (mm)	% que pasa
	3 "	76.200	100.0
	2 "	50.800	100.0
	1 1/2 "	38.100	88.2
	1 "	25.400	79.6
	3/4"	19.100	71.5
	3/8"	9.520	57.5
	Nº 4	4.760	43.6
	Nº 10	2.000	33.0
	Nº 20	0.840	26.5
	Nº 40	0.425	23.2
	Nº 60	0.250	21.2
	Nº 140	0.106	18.5
	Nº 200	0.075	17.7

LIMITES DE CONSISTENCIA

Límite Líquido (LL) (%):	27
Límite Plástico (LP) (%):	18
Índice Plástico (IP) (%):	9



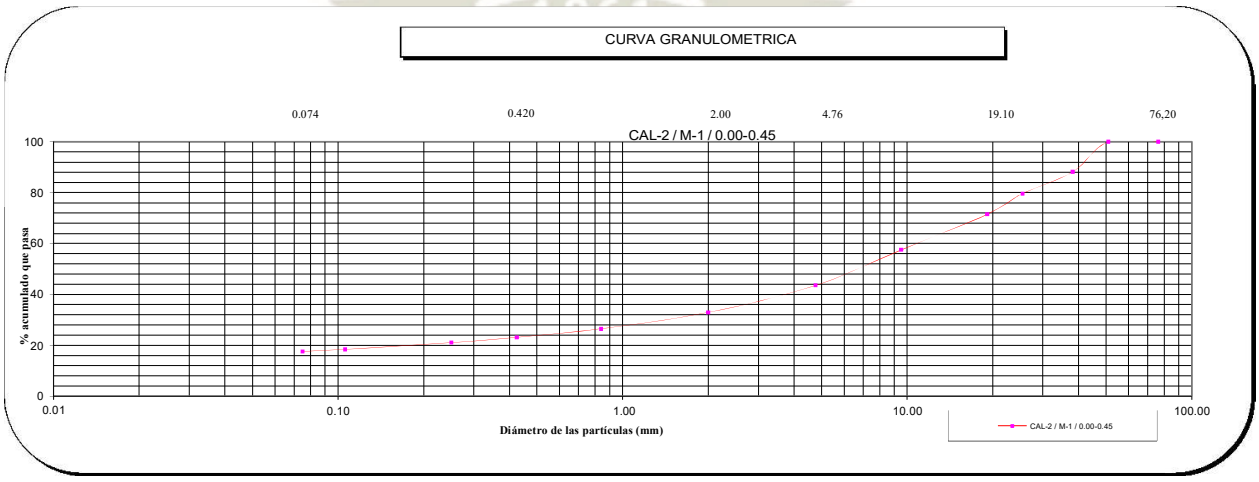
Distribución Granulométrica

% Grava	GG%	28.5
	GF%	27.9
% Arena	AG%	10.6
	AM%	9.8
	AF%	5.5
% Finos		17.70
Tamaño Máximo de la Grava (pulg)		2
Forma del suelo grueso		Sub-angular
Porcentaje retenido en la 3 pulg (%)		0
Coeficiente de Curvatura		---
Coeficiente de Uniformidad		---

Método de ensayo	Multipunto
Preparación de la muestra	Húmeda

Clasificación (S.U.C.S.)	
GC	Grava arcillosa con arena

Limo y Arcilla	Arena			Grava	
	Fina	Media	Gruesa	Fina	Gruesa



Observaciones

Muestra proviene de desmonte minero

Tipo de Preparación para ensayo Clasificación: Vía Húmeda

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

Ensayo	Método
Análisis Granulométrico por Tamizado	ASTM D422 - 63(2007) Standard Test Method for Particle-Size Analysis of Soils
Límites de Consistencia	ASTM D4318 - 10 Standard Test Methods for Liquid Limit, Plastic Limit, and Plasticity Index of Soils
Clasificación SUCS	ASTM D2487 - 11 Standard Practice for Classification of Soils for Engineering Purposes (Unified Soil Classification System)

Sondeo: *CAL-8* ***Muestra:*** *M-1* ***Profundidad (m):*** *0.60-2.50*

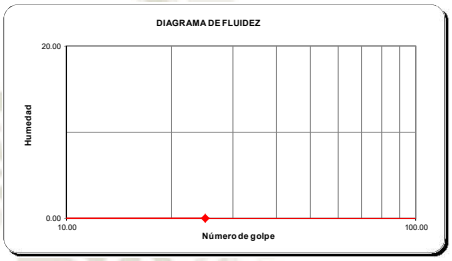
Condición de la muestra: Muestra Alterada ***Tipo de Material:*** Suelo

ANALISIS GRANULOMETRICO POR TAMIZADO

PORCENTAJE ACUMULADO QUE PASA (%)	Malla N°	Abertura (mm)	% que pasa
	3 "	76.200	100.0
	2 "	50.800	100.0
	1 1/2 "	38.100	96.0
	1 "	25.400	91.0
	3/4"	19.100	86.4
	3/8"	9.520	73.6
	Nº 4	4.760	60.6
	Nº 10	2.000	48.9
	Nº 20	0.840	41.2
	Nº 40	0.425	37.1
	Nº 60	0.250	34.6
	Nº 140	0.106	31.1
	Nº 200	0.075	30.1

LIMITES DE CONSISTENCIA

Límite Líquido (LL) (%):	-
Límite Plástico (LP) (%):	NP
Índice Plástico (IP) (%):	NP



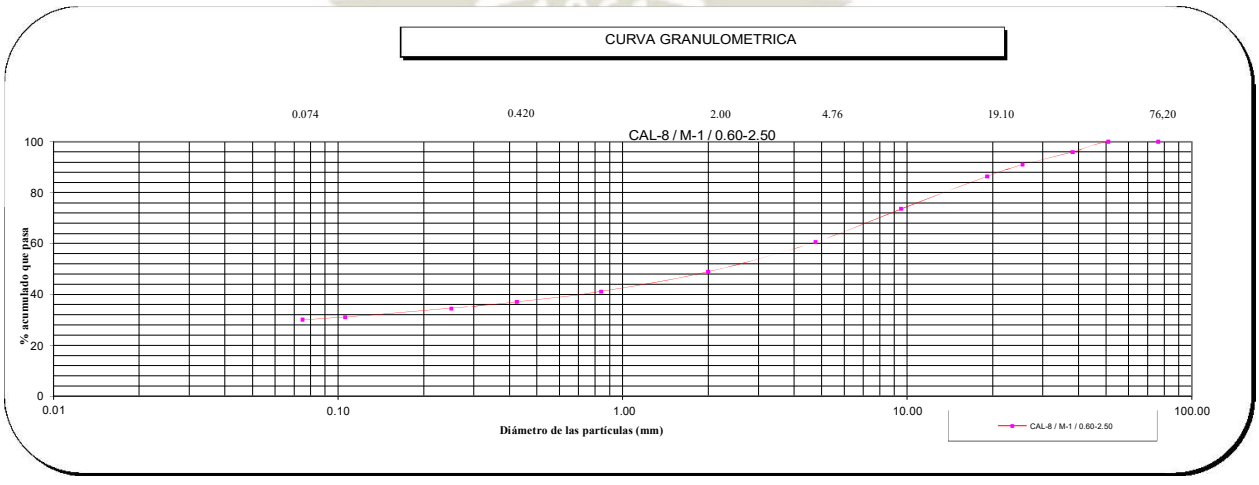
Distribución Granulométrica

% Grava	GG%	13.6
	GF%	25.8
% Arena	AG%	11.7
	AM%	11.8
	AF%	7.0
% Finos		30.10
Tamaño Máximo de la Grava (pulg)		2
Forma del suelo grueso		Sub-angular
Porcentaje retenido en la 3 pulg (%)		0
Coeficiente de Curvatura		---
Coeficiente de Uniformidad		---

Método de ensayo	Multipunto
Preparación de la muestra	Húmeda

Clasificación (S.U.C.S.)	
GM	Grava limosa con arena

Limo y Arcilla	Arena			Grava	
	Fina	Media	Gruesa	Fina	Gruesa



Observaciones

Muestra proviene de desmonte minero

Tipo de Preparación para ensayo Clasificación: Vía Húmeda

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

Ensayo	Método
Análisis Granulométrico por Tamizado	ASTM D422 - 63(2007) Standard Test Method for Particle-Size Analysis of Soils
Límites de Consistencia	ASTM D4318 - 10 Standard Test Methods for Liquid Limit, Plastic Limit, and Plasticity Index of Soils
Clasificación SUCS	ASTM D2487 - 11 Standard Practice for Classification of Soils for Engineering Purposes (Unified Soil Classification System)

Sondeo: *CAL-2* ***Muestra:*** *M-2* ***Profundidad (m):*** *0.45-1.20*

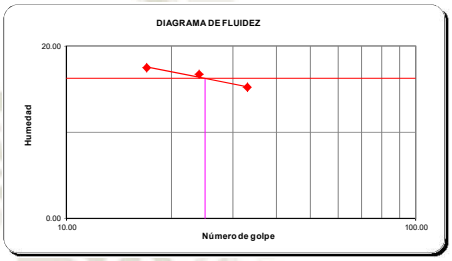
Condición de la muestra: Muestra Alterada ***Tipo de Material:*** Suelo

ANALISIS GRANULOMETRICO POR TAMIZADO

PORCENTAJE ACUMULADO QUE PASA (%)	Malla N°	Abertura (mm)	% que pasa
	3 "	76.200	100.0
	2 "	50.800	100.0
	1 1/2 "	38.100	100.0
	1 "	25.400	98.6
	3/4"	19.100	96.9
	3/8"	9.520	93.4
	Nº 4	4.760	89.5
	Nº 10	2.000	85.9
	Nº 20	0.840	83.8
	Nº 40	0.425	82.7
	Nº 60	0.250	82.1
	Nº 140	0.106	80.7
	Nº 200	0.075	79.6

LIMITES DE CONSISTENCIA

Límite Líquido (LL) (%):	16
Límite Plástico (LP) (%):	13
Índice Plástico (IP) (%):	3



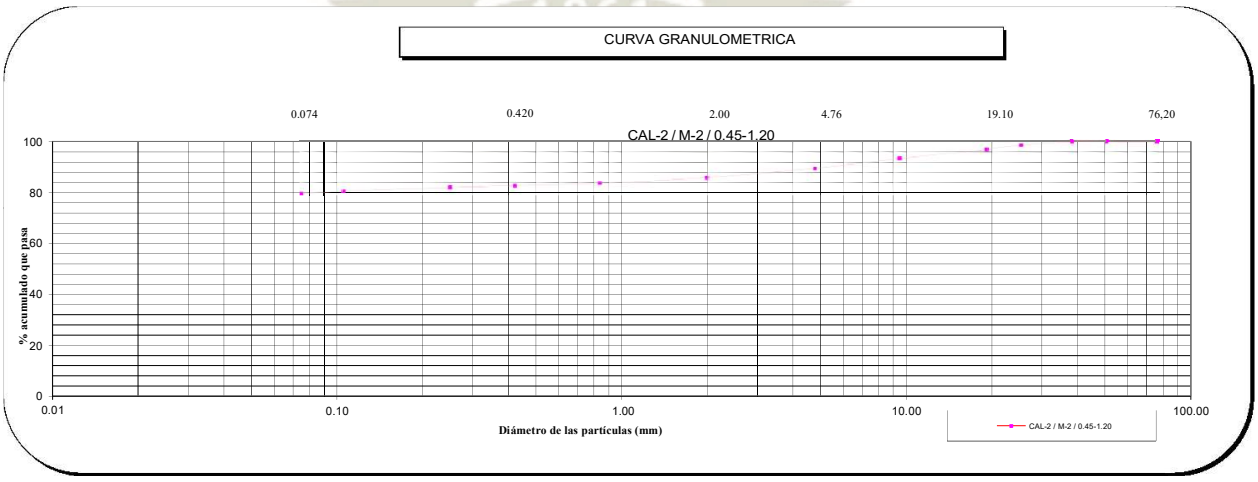
Distribución Granulométrica

% Grava	GG%	3.1
	GF%	7.4
% Arena	AG%	3.6
	AM%	3.2
	AF%	3.1
% Finos		79.60
Tamaño Máximo de la Grava (pulg)		1 1/2
Forma del suelo grueso		Sub-angular
Porcentaje retenido en la 3 pulg (%)		0
Coeficiente de Curvatura		---
Coeficiente de Uniformidad		---

Método de ensayo	Multipunto
Preparación de la muestra	Húmeda

Clasificación (S.U.C.S.)	
ML	Limo con grava

Limo y Arcilla	Arena			Grava	
	Fina	Media	Gruesa	Fina	Gruesa



Observaciones

Muestra proviene de desmonte minero

Tipo de Preparación para ensayo Clasificación: Vía Húmeda

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

Ensayo	Método
Análisis Granulométrico por Tamizado	ASTM D422 - 63(2007) Standard Test Method for Particle-Size Analysis of Soils
Límites de Consistencia	ASTM D4318 - 10 Standard Test Methods for Liquid Limit, Plastic Limit, and Plasticity Index of Soils
Clasificación SUCS	ASTM D2487 - 11 Standard Practice for Classification of Soils for Engineering Purposes (Unified Soil Classification System)

Sondeo: *TRI-4* ***Muestra:*** *M-1* ***Profundidad (m):*** *0.30-3.00*

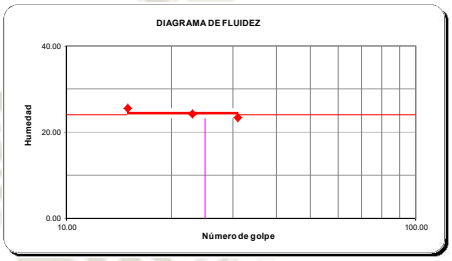
Condición de la muestra: Muestra Alterada ***Tipo de Material:*** Suelo

ANALISIS GRANULOMETRICO POR TAMIZADO

PORCENTAJE ACUMULADO QUE PASA (%)	Malla N°	Abertura (mm)	% que pasa
	3 "	76.200	100.0
	2 "	50.800	100.0
	1 1/2 "	38.100	98.3
	1 "	25.400	95.3
	3/4"	19.100	93.2
	3/8"	9.520	86.7
	Nº 4	4.760	80.0
	Nº 10	2.000	72.5
	Nº 20	0.840	65.3
	Nº 40	0.425	58.5
	Nº 60	0.250	52.1
	Nº 140	0.106	41.7
	Nº 200	0.075	39.5

LIMITES DE CONSISTENCIA

Límite Líquido (LL) (%):	24
Límite Plástico (LP) (%):	18
Índice Plástico (IP) (%):	6



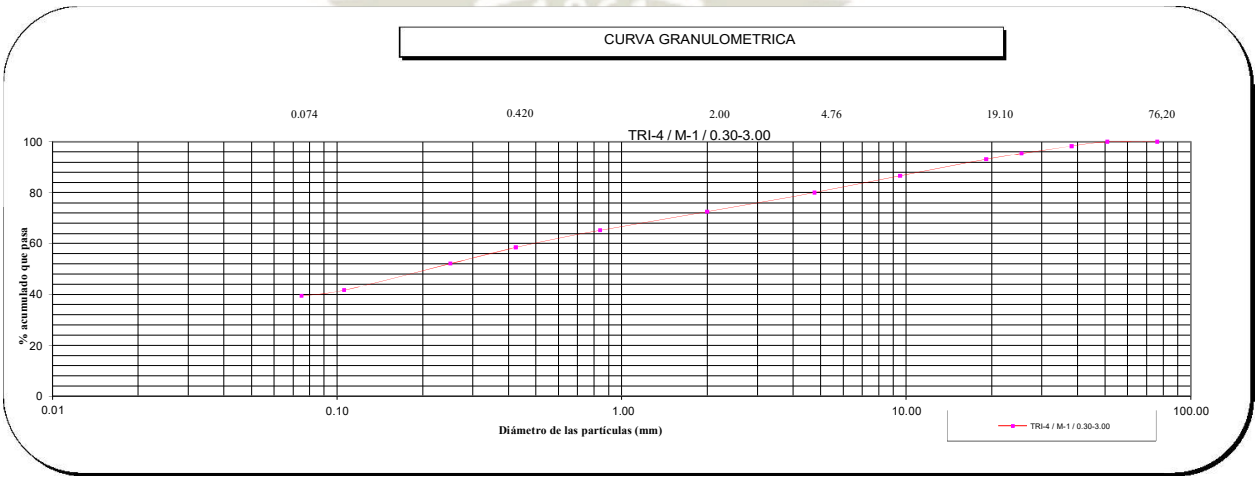
Distribución Granulométrica

% Grava	GG%	6.8
	GF%	13.2
% Arena	AG%	7.5
	AM%	14.0
	AF%	19.0
% Finos		39.50
Tamaño Máximo de la Grava (pulg)		2
Forma del suelo grueso		Sub-angular
Porcentaje retenido en la 3 pulg (%)		0
Coeficiente de Curvatura		---
Coeficiente de Uniformidad		---

Método de ensayo	Multipunto
Preparación de la muestra	Húmeda

Clasificación (S.U.C.S.)	
SC - SM	Arena limosa arcillosa con grava

Limo y Arcilla	Arena			Grava	
	Fina	Media	Gruesa	Fina	Gruesa



Observaciones

Muestra proviene de desmonte minero

Tipo de Preparación para ensayo Clasificación: Vía Húmeda

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

Ensayo	Método
Análisis Granulométrico por Tamizado	ASTM D422 - 63(2007) Standard Test Method for Particle-Size Analysis of Soils
Límites de Consistencia	ASTM D4318 - 10 Standard Test Methods for Liquid Limit, Plastic Limit, and Plasticity Index of Soils
Clasificación SUCS	ASTM D2487 - 11 Standard Practice for Classification of Soils for Engineering Purposes (Unified Soil Classification System)

Sondeo: *TRI-7* ***Muestra:*** *M-1* ***Profundidad (m):*** *0.00-2.50*

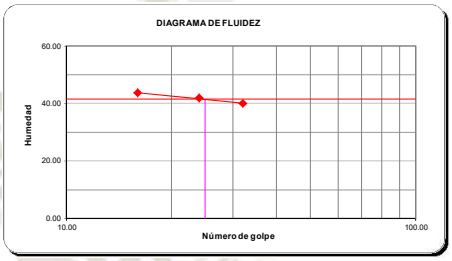
Condición de la muestra: Muestra Alterada ***Tipo de Material:*** Suelo

ANALISIS GRANULOMETRICO POR TAMIZADO

PORCENTAJE ACUMULADO QUE PASA (%)	Malla N°	Abertura (mm)	% que pasa
	3 "	76.200	100.0
	2 "	50.800	96.0
	1 1/2 "	38.100	93.6
	1 "	25.400	83.1
	3/4"	19.100	76.3
	3/8"	9.520	62.3
	Nº 4	4.760	49.9
	Nº 10	2.000	39.1
	Nº 20	0.840	32.0
	Nº 40	0.425	27.9
	Nº 60	0.250	25.3
	Nº 140	0.106	21.9
	Nº 200	0.075	21.2

LIMITES DE CONSISTENCIA

Límite Líquido (LL) (%):	41
Límite Plástico (LP) (%):	32
Índice Plástico (IP) (%):	9



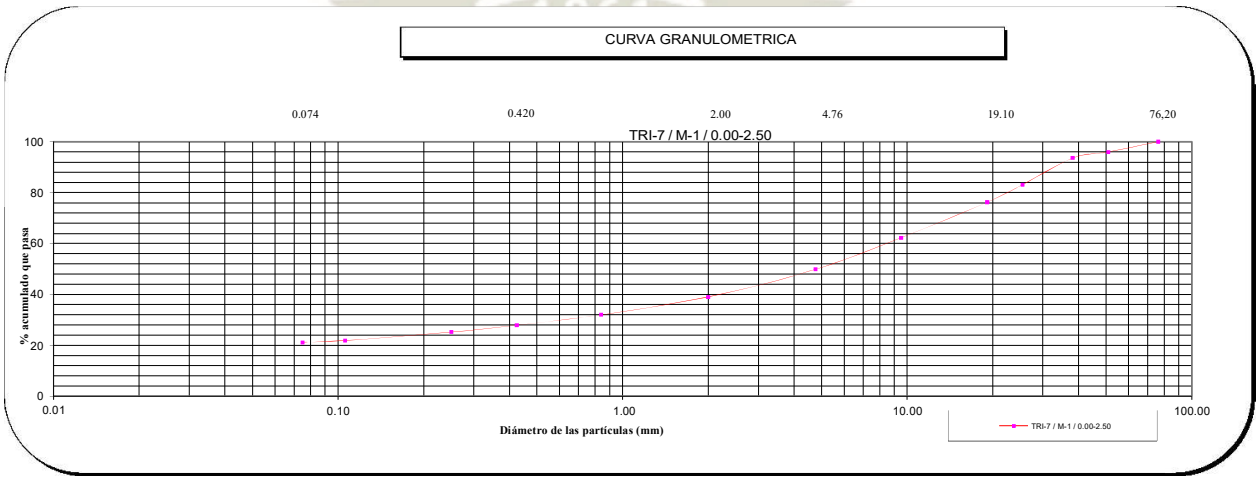
Distribución Granulométrica

% Grava	GG%	23.7
	GF%	26.4
% Arena	AG%	10.8
	AM%	11.2
	AF%	6.7
% Finos		21.20
Tamaño Máximo de la Grava (pulg)		3
Forma del suelo grueso		Sub-angular
Porcentaje retenido en la 3 pulg (%)		0
Coeficiente de Curvatura		---
Coeficiente de Uniformidad		---

Método de ensayo	Multipunto
Preparación de la muestra	Húmeda

Clasificación (S.U.C.S.)	
GM	Grava limosa con arena

Limo y Arcilla	Arena			Grava	
	Fina	Media	Gruesa	Fina	Gruesa



Observaciones

Muestra proviene de desmonte minero

Tipo de Preparación para ensayo Clasificación: Vía Húmeda

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Ensayo	Método
Análisis Granulométrico por Tamizado	ASTM D422 - 63(2007) Standard Test Method for Particle-Size Analysis of Soils
Límites de Consistencia	ASTM D4318 - 10 Standard Test Methods for Liquid Limit, Plastic Limit, and Plasticity Index of Soils
Clasificación SUCS	ASTM D2487 - 11 Standard Practice for Classification of Soils for Engineering Purposes (Unified Soil Classification System)

Sondeo: *TRI-6* ***Muestra:*** *M-2* ***Profundidad (m):*** *2.00-3.00*

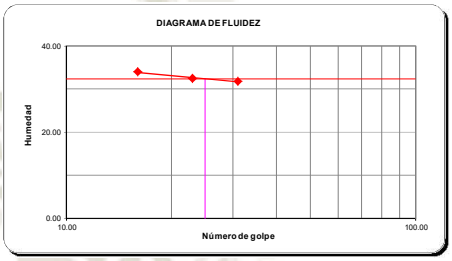
Condición de la muestra: Muestra Alterada ***Tipo de Material:*** Suelo

ANALISIS GRANULOMETRICO POR TAMIZADO

PORCENTAJE ACUMULADO QUE PASA (%)	Malla N°	Abertura (mm)	% que pasa
	3 "	76.200	100.0
	2 "	50.800	85.8
	1 1/2 "	38.100	73.9
	1 "	25.400	67.4
	3/4"	19.100	63.8
	3/8"	9.520	52.4
	Nº 4	4.760	41.5
	Nº 10	2.000	31.2
	Nº 20	0.840	23.8
	Nº 40	0.425	18.7
	Nº 60	0.250	16.0
	Nº 140	0.106	13.0
	Nº 200	0.075	12.4

LIMITES DE CONSISTENCIA

Límite Líquido (LL) (%):	32
Límite Plástico (LP) (%):	20
Índice Plástico (IP) (%):	12



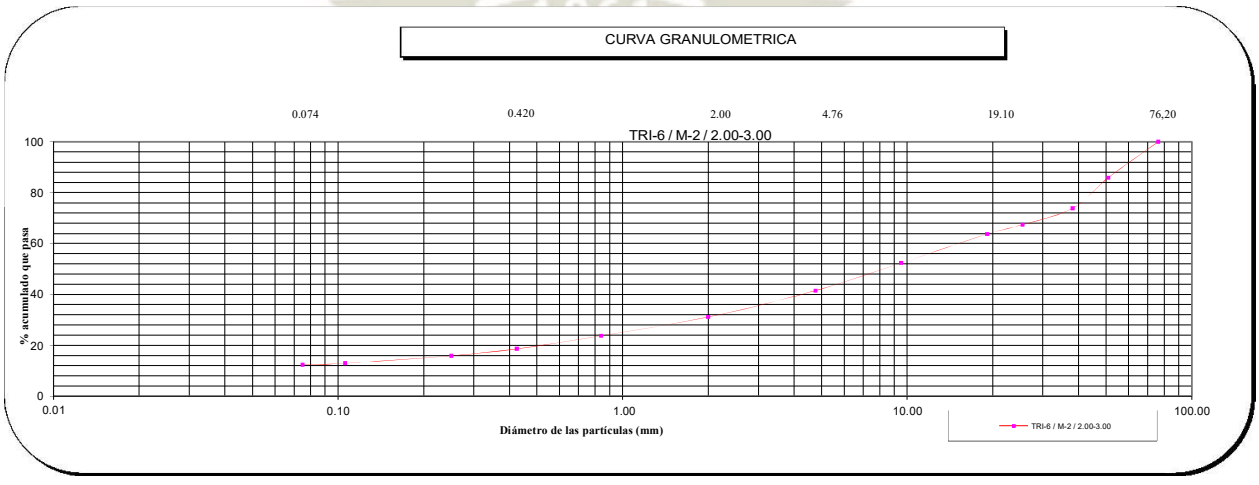
Distribución Granulométrica

% Grava	GG%	36.2
	GF%	22.3
% Arena	AG%	10.3
	AM%	12.5
	AF%	6.3
% Finos		12.40
Tamaño Máximo de la Grava (pulg)		3
Forma del suelo grueso		Sub-angular
Porcentaje retenido en la 3 pulg (%)		0
Coeficiente de Curvatura		---
Coeficiente de Uniformidad		---

Método de ensayo	Multipunto
Preparación de la muestra	Húmeda

Clasificación (S.U.C.S.)	
GC	Grava arcillosa con arena

Limo y Arcilla	Arena			Grava	
	Fina	Media	Gruesa	Fina	Gruesa



Observaciones

Muestra proviene de desmonte minero

Tipo de Preparación para ensayo Clasificación: Vía Húmeda

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

Ensayo	Método
Análisis Granulométrico por Tamizado	ASTM D422 - 63(2007) Standard Test Method for Particle-Size Analysis of Soils
Límites de Consistencia	ASTM D4318 - 10 Standard Test Methods for Liquid Limit, Plastic Limit, and Plasticity Index of Soils
Clasificación SUCS	ASTM D2487 - 11 Standard Practice for Classification of Soils for Engineering Purposes (Unified Soil Classification System)

Sondeo: *TRI-6* ***Muestra:*** *M-1* ***Profundidad (m):*** *0.00-2.00*

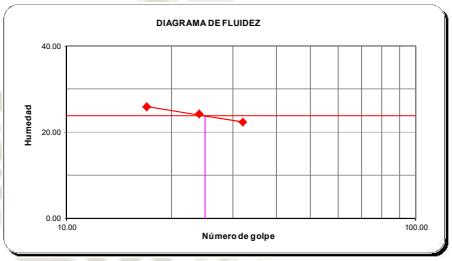
Condición de la muestra: Muestra Alterada ***Tipo de Material:*** Suelo

ANALISIS GRANULOMETRICO POR TAMIZADO

PORCENTAJE ACUMULADO QUE PASA (%)	Malla N°	Abertura (mm)	% que pasa
	3 "	76.200	100.0
	2 "	50.800	88.0
	1 1/2 "	38.100	81.8
	1 "	25.400	74.6
	3/4"	19.100	68.4
	3/8"	9.520	56.5
	Nº 4	4.760	42.3
	Nº 10	2.000	27.3
	Nº 20	0.840	19.4
	Nº 40	0.425	16.0
	Nº 60	0.250	14.3
	Nº 140	0.106	12.2
	Nº 200	0.075	11.5

LIMITES DE CONSISTENCIA

Límite Líquido (LL) (%):	24
Límite Plástico (LP) (%):	17
Índice Plástico (IP) (%):	7



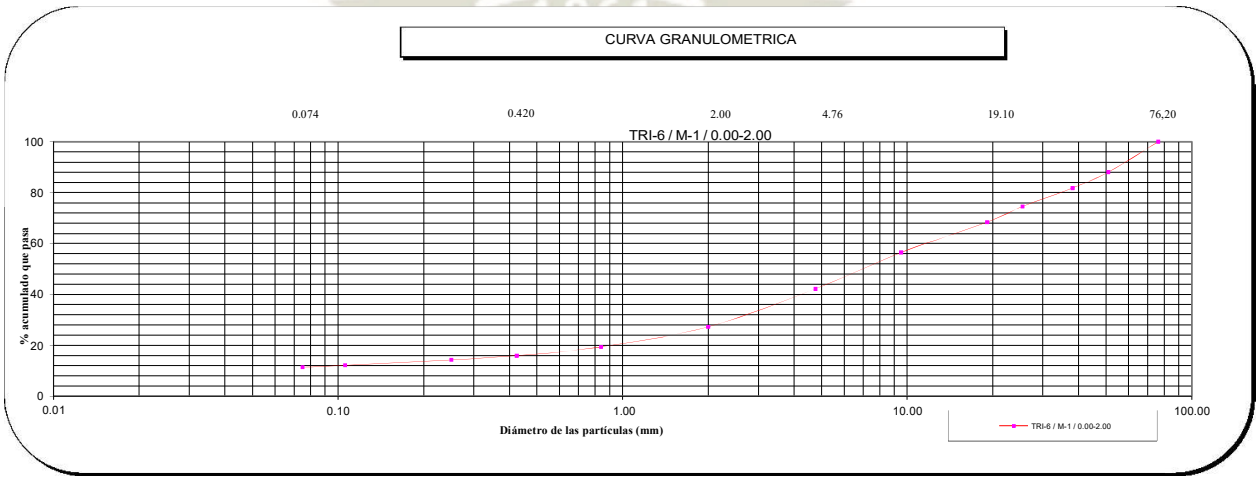
Distribución Granulométrica

% Grava	GG%	31.6
	GF%	26.1
% Arena	AG%	15.0
	AM%	11.3
	AF%	4.5
% Finos		11.50
Tamaño Máximo de la Grava (pulg)		3
Forma del suelo grueso		Sub-angular
Porcentaje retenido en la 3 pulg (%)		0
Coeficiente de Curvatura		9.83
Coeficiente de Uniformidad		245.62

Método de ensayo	Multipunto
Preparación de la muestra	Húmeda

Clasificación (S.U.C.S.)	
GP - GC	Grava pobremente graduada con arcilla y arena

Limo y Arcilla	Arena			Grava	
	Fina	Media	Gruesa	Fina	Gruesa



Observaciones

Muestra proviene de desmonte minero

Tipo de Preparación para ensayo Clasificación: Vía Húmeda

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

Ensayo	Método
Análisis Granulométrico por Tamizado	ASTM D422 - 63(2007) Standard Test Method for Particle-Size Analysis of Soils
Límites de Consistencia	ASTM D4318 - 10 Standard Test Methods for Liquid Limit, Plastic Limit, and Plasticity Index of Soils
Clasificación SUCS	ASTM D2487 - 11 Standard Practice for Classification of Soils for Engineering Purposes (Unified Soil Classification System)

Sondeo: *TRI-7* ***Muestra:*** *M-2* ***Profundidad (m):*** *2.50-3.00*

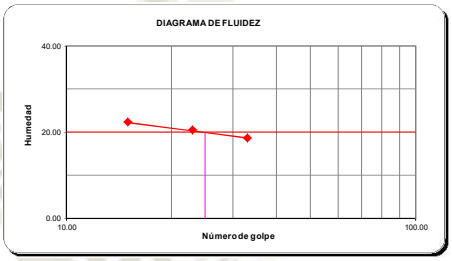
Condición de la muestra: Muestra Alterada ***Tipo de Material:*** Suelo

ANALISIS GRANULOMETRICO POR TAMIZADO

PORCENTAJE ACUMULADO QUE PASA (%)	Malla N°	Abertura (mm)	% que pasa
	3 "	76.200	100.0
	2 "	50.800	95.8
	1 1/2 "	38.100	87.8
	1 "	25.400	79.5
	3/4"	19.100	72.1
	3/8"	9.520	62.3
	Nº 4	4.760	53.3
	Nº 10	2.000	44.8
	Nº 20	0.840	38.0
	Nº 40	0.425	33.1
	Nº 60	0.250	29.3
	Nº 140	0.106	23.4
	Nº 200	0.075	22.5

LIMITES DE CONSISTENCIA

Límite Líquido (LL) (%):	20
Límite Plástico (LP) (%):	15
Índice Plástico (IP) (%):	5



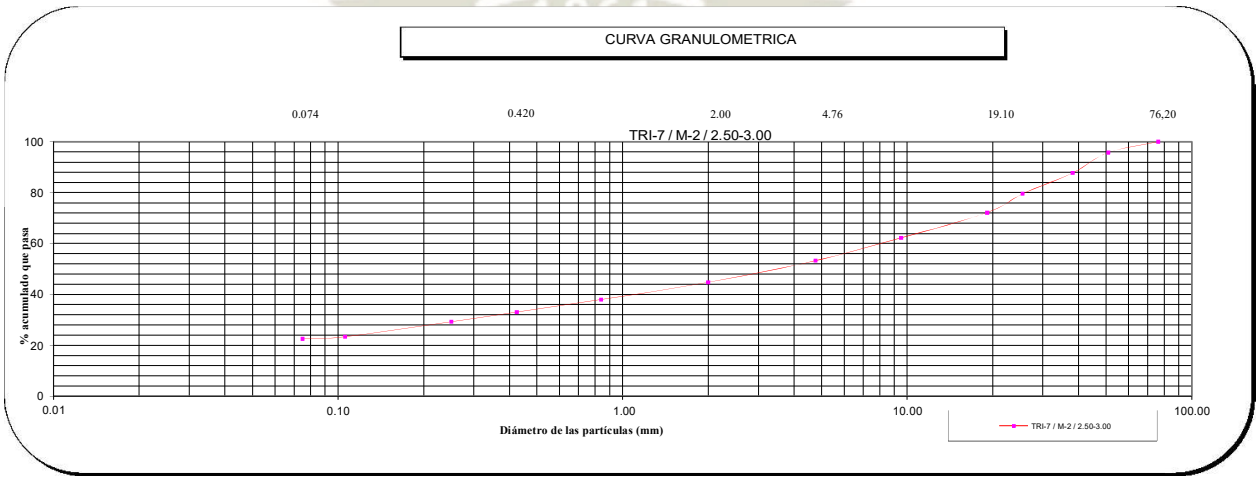
Distribución Granulométrica

% Grava	GG%	27.9
	GF%	18.8
% Arena	AG%	8.5
	AM%	11.7
	AF%	10.6
% Finos		22.50
Tamaño Máximo de la Grava (pulg)		3
Forma del suelo grueso		Sub-angular
Porcentaje retenido en la 3 pulg (%)		0
Coeficiente de Curvatura		---
Coeficiente de Uniformidad		---

Método de ensayo	Multipunto
Preparación de la muestra	Húmeda

Clasificación (S.U.C.S.)	
GC - GM	Grava limosa arcillosa con arena

Limo y Arcilla	Arena			Grava	
	Fina	Media	Gruesa	Fina	Gruesa



Observaciones

Muestra proviene de desmonte minero

Tipo de Preparación para ensayo Clasificación: Vía Húmeda

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

Ensayo	Método
Análisis Granulométrico por Tamizado	ASTM D422 - 63(2007) Standard Test Method for Particle-Size Analysis of Soils
Límites de Consistencia	ASTM D4318 - 10 Standard Test Methods for Liquid Limit, Plastic Limit, and Plasticity Index of Soils
Clasificación SUCS	ASTM D2487 - 11 Standard Practice for Classification of Soils for Engineering Purposes (Unified Soil Classification System)

Sondeo: *TRI-5* ***Muestra:*** *M-1* ***Profundidad (m):*** *0.00-3.00*

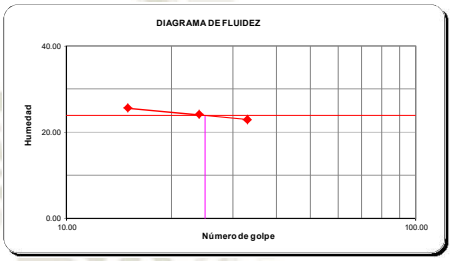
Condición de la muestra: Muestra Alterada ***Tipo de Material:*** Suelo

ANALISIS GRANULOMETRICO POR TAMIZADO

PORCENTAJE ACUMULADO QUE PASA (%)	Malla N°	Abertura (mm)	% que pasa
	3 "	76.200	100.0
	2 "	50.800	93.0
	1 1/2 "	38.100	85.1
	1 "	25.400	75.2
	3/4"	19.100	66.9
	3/8"	9.520	51.6
	Nº 4	4.760	40.6
	Nº 10	2.000	30.3
	Nº 20	0.840	24.0
	Nº 40	0.425	20.1
	Nº 60	0.250	17.3
	Nº 140	0.106	13.2
	Nº 200	0.075	12.2

LIMITES DE CONSISTENCIA

Límite Líquido (LL) (%):	24
Límite Plástico (LP) (%):	17
Índice Plástico (IP) (%):	7



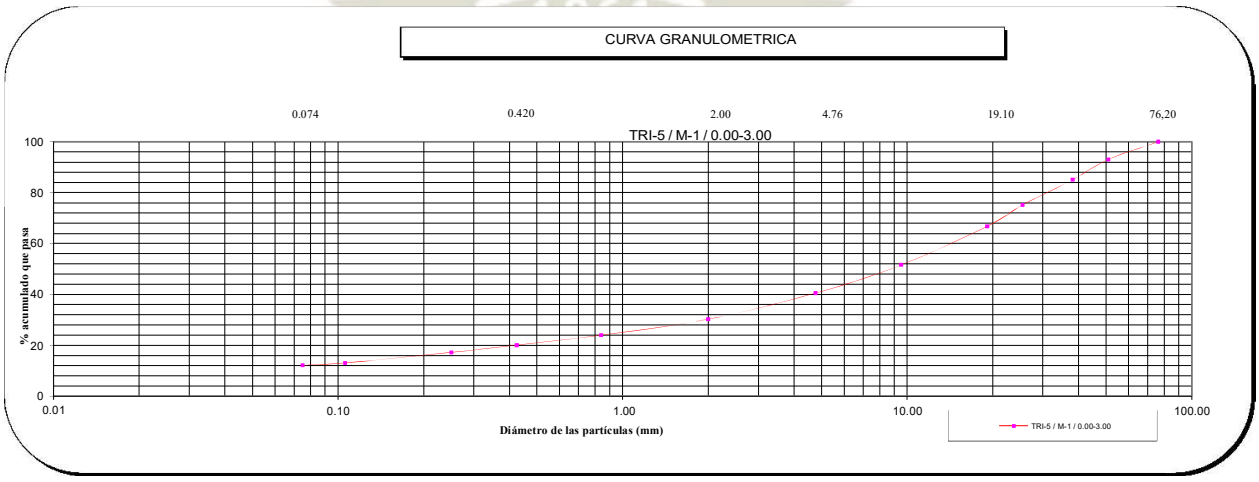
Distribución Granulométrica

% Grava	GG%	33.1
	GF%	26.3
% Arena	AG%	10.3
	AM%	10.2
	AF%	7.9
% Finos		12.20
Tamaño Máximo de la Grava (pulg)		3
Forma del suelo grueso		Sub-angular
Porcentaje retenido en la 3 pulg (%)		0
Coeficiente de Curvatura		---
Coeficiente de Uniformidad		---

Método de ensayo	Multipunto
Preparación de la muestra	Húmeda

Clasificación (S.U.C.S.)	
GC	Grava arcillosa con arena

Limo y Arcilla	Arena			Grava	
	Fina	Media	Gruesa	Fina	Gruesa



Observaciones

Muestra proviene de desmonte minero

Tipo de Preparación para ensayo Clasificación: Vía Húmeda

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

ANEXO 03.B: REGISTRO DE ENSAYOS DE CORTE DIRECTO

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

ENSAYO DE CORTE DIRECTO
NTP 339,171/ ASTM D 3080

Tesis: "Propuesta del Rediseño de Taludes para la Estabilidad Física en la Remediación y Cierre de un Depósito de Desmontes en Cerro de Pasco."

Ubicación: Cerro de Pasco - Perú

ENSAYOS REALIZADOS POR: LABORATORIO TÉCNICO Y CONCRETO DE CESEL INGENIEROS

Sondeo: TRI-1
Muestra: M-2
Profundidad (m): 0.60-2.50
Ubicación: Depósito de Desmontes

Clasificación SUCS (muestra original): GC
Estado de la muestra: Remoldeada
Velocidad de ensayo: 0.3 mm/min.

DATOS		ESPECIMEN 01		ESPECIMEN 02		ESPECIMEN 03	
Esfuerzo Normal	(kg/cm^2)	0.50		1.00		2.00	
Etapa		Inicial	Final	Inicial	Final	Inicial	Final
Altura	(cm)	2.00	1.97	2.00	1.96	2.00	1.94
Lado	(cm)	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00
Peso seco	(g)	134.50	134.50	134.70	134.70	134.60	134.60
Densidad Húmeda	(g/cm^3)	2.17	2.33	2.17	2.33	2.17	2.33
Humedad	(%)	16.13	23.05	16.11	21.90	16.12	20.95
Densidad Seca	(g/cm^3)	1.87	1.90	1.87	1.91	1.87	1.93

ESPECIMEN 01			ESPECIMEN 02			ESPECIMEN 03		
Deform. Tangencial	Esfuerzo de Corte		Deform. Tangencial	Esfuerzo de Corte		Deform. Tangencial	Esfuerzo de Corte	
	Tangencial	Normalizado		Tangencial	Normalizado		Tangencial	Normalizado
(%)	(kg/cm^2)	(kg/cm^2)	(%)	(kg/cm^2)	(kg/cm^2)	(%)	(kg/cm^2)	(kg/cm^2)
0.00	0.08	0.16	0.00	0.08	0.08	0.00	0.08	0.04
0.05	0.14	0.28	0.05	0.38	0.38	0.05	0.40	0.20
0.10	0.17	0.34	0.10	0.45	0.45	0.10	0.51	0.26
0.25	0.24	0.48	0.25	0.56	0.56	0.25	0.73	0.36
0.50	0.39	0.78	0.50	0.71	0.71	0.50	1.06	0.53
0.75	0.49	0.98	0.75	0.83	0.83	0.75	1.28	0.64
1.00	0.58	1.17	1.00	0.94	0.94	1.00	1.39	0.70
1.25	0.64	1.29	1.25	1.00	1.00	1.25	1.49	0.74
1.50	0.71	1.43	1.50	1.05	1.05	1.50	1.55	0.78
2.00	0.79	1.58	2.00	1.11	1.11	2.00	1.64	0.82
2.50	0.84	1.67	2.50	1.17	1.17	2.50	1.73	0.86
3.00	0.85	1.71	3.00	1.23	1.23	3.00	1.83	0.92
3.50	0.87	1.74	3.50	1.27	1.27	3.50	1.92	0.96
4.00	0.87	1.75	4.00	1.30	1.30	4.00	1.99	1.00
4.50	0.86	1.72	4.50	1.32	1.32	4.50	2.06	1.03
5.00	0.85	1.69	5.00	1.32	1.32	5.00	2.12	1.06
6.00	0.84	1.69	6.00	1.34	1.34	6.00	2.19	1.09
7.00	0.84	1.68	7.00	1.33	1.33	7.00	2.25	1.12
8.00	0.84	1.68	8.00	1.34	1.34	8.00	2.27	1.14
9.00	0.84	1.68	9.00	1.35	1.35	9.00	2.30	1.15
10.00	0.84	1.69	10.00	1.35	1.35	10.00	2.34	1.17
11.00	0.85	1.69	11.00	1.35	1.35	11.00	2.35	1.17
12.00	0.84	1.69	12.00	1.35	1.35	12.00	2.34	1.17
13.00	0.85	1.69	13.00	1.35	1.35	13.00	2.34	1.17
14.00	0.84	1.69	14.00	1.35	1.35	14.00	2.34	1.17
15.00	0.85	1.69	15.00	1.35	1.35	15.00	2.34	1.17

Observaciones: Material utilizado pasante Tamiz N°4, material remoldeado a una densidad de 2.17 g/cm3. La muestra presenta restos de minerales.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

ENSAYO DE CORTE DIRECTO
NTP 339.171/ ASTM D 3080

Tesis: "Propuesta del Rediseño de Taludes para la Estabilidad Física en la Remediación y Cierre de un Depósito de Desmontes en Cerro de Pasco."

Ubicación: Cerro de Pasco - Perú

Sondeo: TRI-1

Muestra: M-2

Clasificación SUCS (muestra original): GC

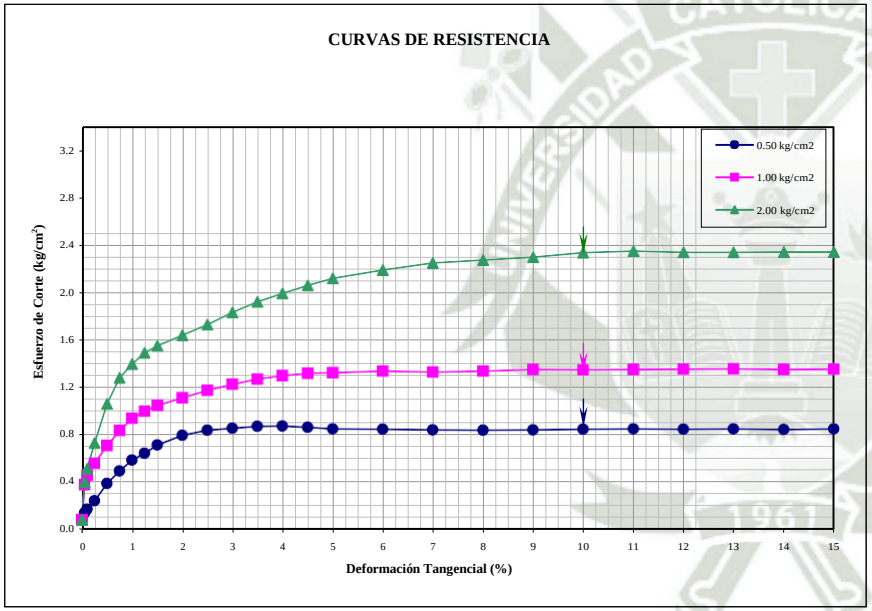
Profundidad (m): 0.60-2.50

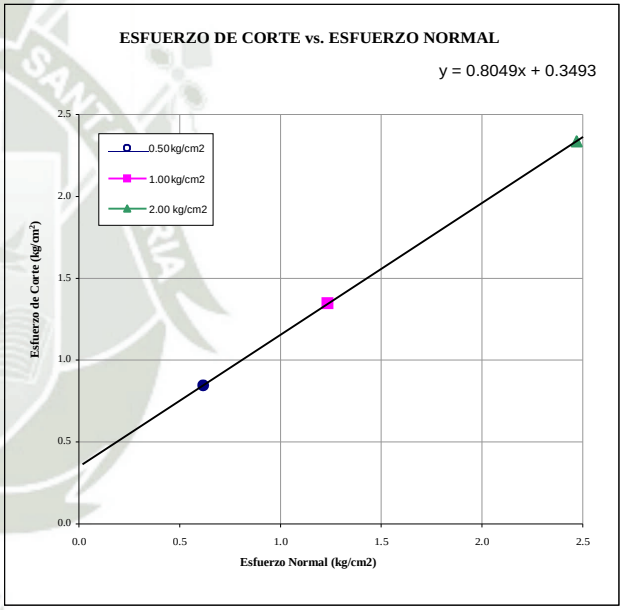
Estado de la Muestra: Remoldeada

Ubicación: Depósito de Desmontes

RESULTADOS:

C' =	**0.35**	kg/cm^2
ϕ' =	**38.8**	º





Observación Material utilizado pasante Tamiz N° 4, material remoldeado a una densidad de 2.17 g/cm3.

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

ENSAYO DE CORTE DIRECTO

NTP 339,171/ ASTM D 3080

Tesis: "Propuesta del Rediseño de Taludes para la Estabilidad Física en la Remediación y Cierre de un Depósito de Desmontes en Cerro de Pasco."

Ubicación: Cerro de Pasco - Perú

Sondeo: TRI-2

Muestra: M-1

Profundidad (m): 0.30-3.00

Ubicación: Depósito de Desmontes

Clasificación SUCS (muestra original): GC-GM

Estado de la muestra: Remoldeada

Velocidad de ensayo: 0.3 mm/min.

DATOS		ESPECIMEN 01		ESPECIMEN 02		ESPECIMEN 03	
Esfuerzo Normal	(kg/cm^2)	0.50		1.00		2.00	
Etapa		Inicial	Final	Inicial	Final	Inicial	Final
Altura	(cm)	2.00	1.96	2.00	1.95	2.00	1.89
Lado	(cm)	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00
Peso seco	(g)	124.00	124.00	124.00	124.00	124.00	124.00
Densidad Húmeda	(g/cm^3)	1.92	2.06	1.92	2.07	1.92	2.12
Humedad	(%)	11.45	17.34	11.37	17.18	11.53	16.13
Densidad Seca	(g/cm^3)	1.72	1.76	1.72	1.77	1.72	1.82

ESPECIMEN 01			ESPECIMEN 02			ESPECIMEN 03		
Deform. Tangencial	Esfuerzo de Corte		Deform. Tangencial	Esfuerzo de Corte		Deform. Tangencial	Esfuerzo de Corte	
	Tangencial	Normalizado		Tangencial	Normalizado		Tangencial	Normalizado
(%)	(kg/cm^2)	(kg/cm^2)	(%)	(kg/cm^2)	(kg/cm^2)	(%)	(kg/cm^2)	(kg/cm^2)
0.00	0.08	0.16	0.00	0.08	0.08	0.00	0.08	0.04
0.05	0.14	0.28	0.05	0.21	0.21	0.05	0.27	0.14
0.10	0.17	0.34	0.10	0.25	0.25	0.10	0.36	0.18
0.25	0.25	0.50	0.25	0.39	0.39	0.25	0.48	0.24
0.50	0.33	0.66	0.50	0.63	0.63	0.50	0.79	0.39
0.75	0.39	0.78	0.75	0.72	0.72	0.75	1.02	0.51
1.00	0.42	0.85	1.00	0.78	0.78	1.00	1.21	0.61
1.25	0.44	0.87	1.25	0.83	0.83	1.25	1.34	0.67
1.50	0.45	0.90	1.50	0.85	0.85	1.50	1.45	0.72
2.00	0.48	0.95	2.00	0.89	0.89	2.00	1.55	0.77
2.50	0.49	0.98	2.50	0.93	0.93	2.50	1.62	0.81
3.00	0.50	1.00	3.00	0.96	0.96	3.00	1.69	0.85
3.50	0.51	1.02	3.50	0.99	0.99	3.50	1.75	0.87
4.00	0.54	1.08	4.00	1.00	1.00	4.00	1.78	0.89
4.50	0.56	1.12	4.50	1.03	1.03	4.50	1.81	0.91
5.00	0.59	1.17	5.00	1.10	1.10	5.00	1.87	0.93
6.00	0.62	1.24	6.00	1.13	1.13	6.00	1.92	0.96
7.00	0.66	1.32	7.00	1.18	1.18	7.00	1.97	0.98
8.00	0.67	1.34	8.00	1.23	1.23	8.00	1.99	1.00
9.00	0.70	1.41	9.00	1.26	1.26	9.00	2.01	1.01
10.00	0.72	1.44	10.00	1.27	1.27	10.00	2.02	1.01
11.00	0.72	1.44	11.00	1.27	1.27	11.00	2.02	1.01
12.00	0.72	1.44	12.00	1.27	1.27	12.00	2.02	1.01
13.00	0.72	1.44	13.00	1.28	1.28	13.00	2.01	1.01
14.00	0.72	1.44	14.00	1.28	1.28	14.00	2.01	1.01
15.00	0.72	1.44	15.00	1.28	1.28	15.00	2.01	1.00

Observaciones: Material utilizado pasante Tamiz N°4, material remoldeado a una densidad de 1.92 g/cm3. La muestra presenta restos de minerales.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

ENSAYO DE CORTE DIRECTO
NTP 339.171/ ASTM D 3080

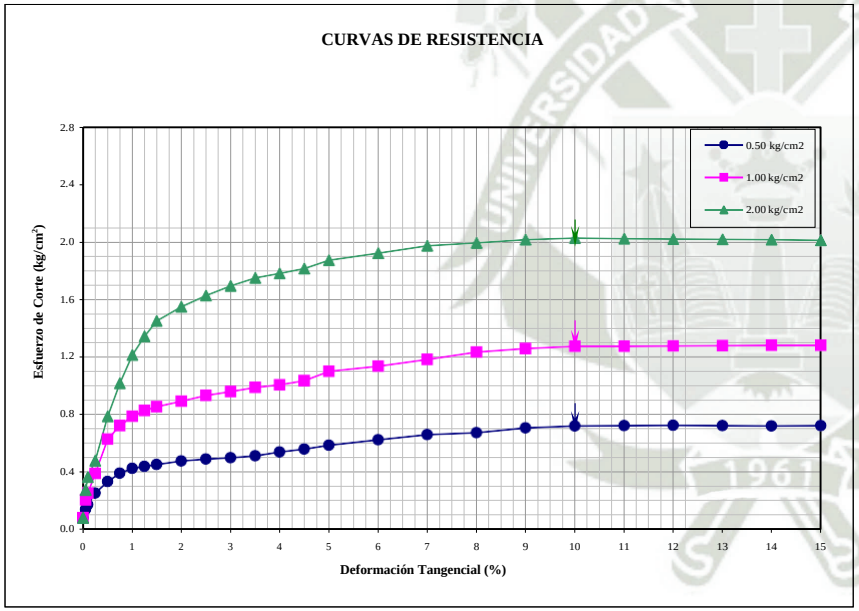
Tesis: "Propuesta del Rediseño de Taludes para la Estabilidad Física en la Remediación y Cierre de un Depósito de Desmontes en Cerro de Pasco."

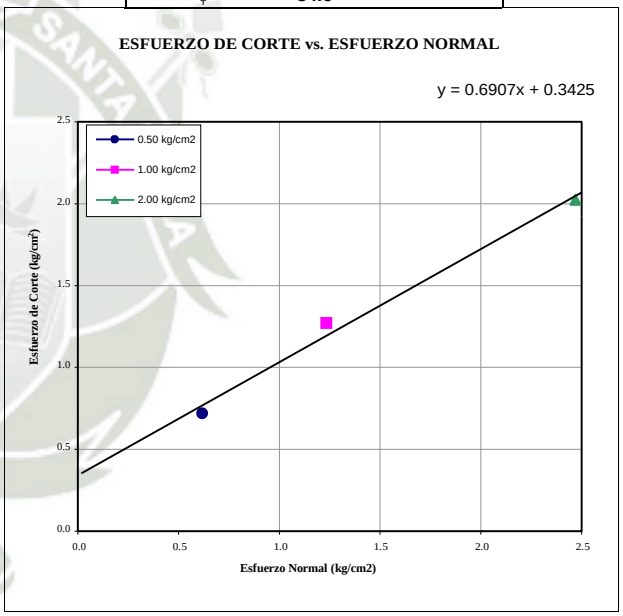
Ubicación: Cerro de Pasco - Perú

Sondeo: TRI-2
Muestra: M-1 **Clasificación SUCS (muestra original)** GC-GM
Profundidad (m): 0.30-3.00 **Estado de la Muestra :** Remoldeada
Ubicación: Depósito de Desmontes

RESULTADOS:

C' =	**0.34**	kg/cm^2
ϕ' =	**34.6**	º





Observación Material utilizado pasante Tamiz N° 4, material remoldeado a una densidad de 1.92 g/cm3. La muestra presenta restos de minerales.

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

ENSAYO DE CORTE DIRECTO
NTP 339,171/ ASTM D 3080

Tesis: "Propuesta del Rediseño de Taludes para la Estabilidad Física en la Remediación y Cierre de un Depósito de Desmontes en Cerro de Pasco."

Ubicación: Cerro de Pasco - Perú

Sondeo: CAL-8
Muestra: M-1
Profundidad (m): 0.60-2.50
Ubicación: Depósito de Desmontes

Clasificación SUCS (muestra original): GM
Estado de la muestra: Inalterada
Velocidad de ensayo: 0.3 mm/min.

DATOS		ESPECIMEN 01		ESPECIMEN 02		ESPECIMEN 03	
Esfuerzo Normal	(kg/cm^2)	0.50		1.00		2.00	
Etapa		Inicial	Final	Inicial	Final	Inicial	Final
Altura	(cm)	2.00	1.95	2.00	1.93	2.00	1.90
Lado	(cm)	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00
Peso seco	(g)	136.10	136.10	136.20	136.20	136.10	136.10
Densidad Húmeda	(g/cm^3)	2.12	2.23	2.12	2.25	2.12	2.28
Humedad	(%)	12.12	15.06	12.11	14.90	12.05	14.47
Densidad Seca	(g/cm^3)	1.89	1.94	1.89	1.96	1.89	1.99

ESPECIMEN 01			ESPECIMEN 02			ESPECIMEN 03		
Deform. Tangencial	Esfuerzo de Corte		Deform. Tangencial	Esfuerzo de Corte		Deform. Tangencial	Esfuerzo de Corte	
	Tangencial	Normalizado		Tangencial	Normalizado		Tangencial	Normalizado
(%)	(kg/cm^2)	(kg/cm^2)	(%)	(kg/cm^2)	(kg/cm^2)	(%)	(kg/cm^2)	(kg/cm^2)
0.00	0.08	0.16	0.00	0.08	0.08	0.00	0.08	0.04
0.05	0.12	0.23	0.05	0.14	0.14	0.05	0.38	0.19
0.10	0.14	0.28	0.10	0.18	0.18	0.10	0.45	0.23
0.25	0.17	0.34	0.25	0.26	0.26	0.25	0.60	0.30
0.50	0.21	0.41	0.50	0.35	0.35	0.50	0.79	0.39
0.75	0.25	0.51	0.75	0.45	0.45	0.75	0.94	0.47
1.00	0.29	0.58	1.00	0.53	0.53	1.00	1.08	0.54
1.25	0.32	0.65	1.25	0.61	0.61	1.25	1.24	0.62
1.50	0.36	0.72	1.50	0.69	0.69	1.50	1.37	0.68
2.00	0.43	0.86	2.00	0.80	0.80	2.00	1.58	0.79
2.50	0.50	1.00	2.50	0.90	0.90	2.50	1.74	0.87
3.00	0.55	1.10	3.00	0.99	0.99	3.00	1.88	0.94
3.50	0.60	1.20	3.50	1.08	1.08	3.50	1.98	0.99
4.00	0.64	1.28	4.00	1.14	1.14	4.00	2.08	1.04
4.50	0.67	1.34	4.50	1.21	1.21	4.50	2.17	1.08
5.00	0.69	1.39	5.00	1.28	1.28	5.00	2.24	1.12
6.00	0.75	1.50	6.00	1.34	1.34	6.00	2.36	1.18
7.00	0.78	1.56	7.00	1.38	1.38	7.00	2.43	1.21
8.00	0.81	1.61	8.00	1.41	1.41	8.00	2.48	1.24
9.00	0.82	1.64	9.00	1.44	1.44	9.00	2.52	1.26
10.00	0.83	1.66	10.00	1.45	1.45	10.00	2.55	1.27
11.00	0.83	1.66	11.00	1.45	1.45	11.00	2.54	1.27
12.00	0.83	1.66	12.00	1.45	1.45	12.00	2.54	1.27
13.00	0.83	1.66	13.00	1.45	1.45	13.00	2.55	1.27
14.00	0.83	1.66	14.00	1.45	1.45	14.00	2.55	1.27
15.00	0.83	1.66	15.00	1.45	1.45	15.00	2.54	1.27

Observaciones: Muestra inalterada presenta gravas angulosas en un 30% con TM1" incrustadas en la matriz de suelo las cuales se retiraron manualmente para la ejecución del ensayo. La muestra presenta restos de minerales.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

ENSAYO DE CORTE DIRECTO
NTP 339.171/ ASTM D 3080

Tesis: "Propuesta del Rediseño de Taludes para la Estabilidad Física en la Remediación y Cierre de un Depósito de Desmontes en Cerro de Pasco."

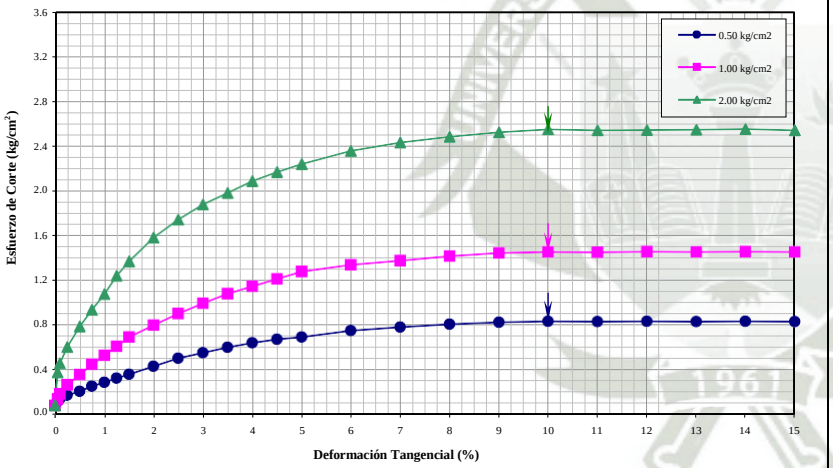
Ubicación: Cerro de Pasco - Perú

Sondeo: CAL-8
Muestra: M-1 **Clasificación SUCS (muestra original)** GM
Profundidad (m): 0.60-2.50 **Estado de la Muestra:** Inalterada
Ubicación: Depósito de Desmontes

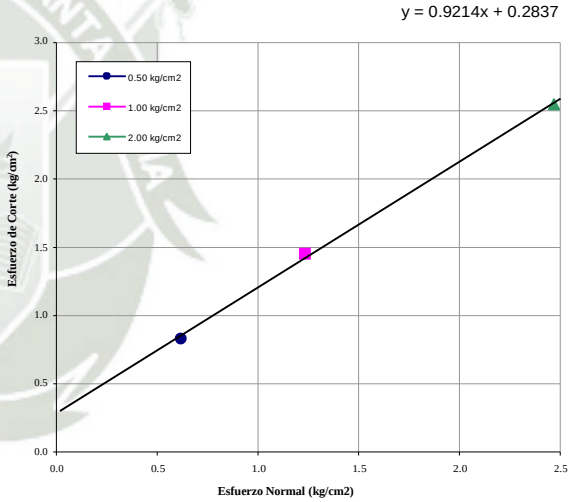
RESULTADOS:

C' =	**0.28**	kg/cm^2
ϕ' =	**42.7**	^{o}

CURVAS DE RESISTENCIA



ESFUERZO DE CORTE vs. ESFUERZO NORMAL



Observación Muestra inalterada presenta gravas angulosas en un 30% con TM1" incrustadas en la matriz de suelo las cuales se retiraron manualmente para la ejecución del ensayo. La muestra presenta restos de minerales.

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

ENSAYO DE CORTE DIRECTO
NTP 339,171/ ASTM D 3080

Tesis: "Propuesta del Rediseño de Taludes para la Estabilidad Física en la Remediación y Cierre de un Depósito de Desmontes en Cerro de Pasco."

Ubicación: Cerro de Pasco - Perú

Sondeo: TRI-4
Muestra: M-1
Profundidad (m): 0.30-3.00
Ubicación: Depósito de Desmontes

Clasificación SUCS (muestra original): SC-SM
Estado de la muestra: Remoldeada
Velocidad de ensayo: 0.3 mm/min.

DATOS		ESPECIMEN 01		ESPECIMEN 02		ESPECIMEN 03	
Esfuerzo Normal	(kg/cm^2)	0.50		1.00		2.00	
Etapa		Inicial	Final	Inicial	Final	Inicial	Final
Altura	(cm)	2.00	1.91	2.00	1.88	2.00	1.86
Lado	(cm)	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00
Peso seco	(g)	128.60	128.60	128.80	128.80	128.70	128.70
Densidad Húmeda	(g/cm^3)	2.13	2.29	2.13	2.31	2.13	2.33
Humedad	(%)	19.28	22.71	19.25	21.35	19.27	20.98
Densidad Seca	(g/cm^3)	1.79	1.87	1.79	1.90	1.79	1.92

ESPECIMEN 01			ESPECIMEN 02			ESPECIMEN 03		
Deform. Tangencial	Esfuerzo de Corte		Deform. Tangencial	Esfuerzo de Corte		Deform. Tangencial	Esfuerzo de Corte	
	Tangencial	Normalizado		Tangencial	Normalizado		Tangencial	Normalizado
(%)	(kg/cm^2)	(kg/cm^2)	(%)	(kg/cm^2)	(kg/cm^2)	(%)	(kg/cm^2)	(kg/cm^2)
0.00	0.08	0.16	0.00	0.08	0.08	0.00	0.08	0.04
0.05	0.15	0.30	0.05	0.21	0.21	0.05	0.31	0.15
0.10	0.22	0.43	0.10	0.26	0.26	0.10	0.43	0.22
0.25	0.26	0.53	0.25	0.36	0.36	0.25	0.66	0.33
0.50	0.34	0.69	0.50	0.51	0.51	0.50	0.90	0.45
0.75	0.40	0.80	0.75	0.63	0.63	0.75	1.08	0.54
1.00	0.46	0.92	1.00	0.76	0.76	1.00	1.24	0.62
1.25	0.52	1.03	1.25	0.85	0.85	1.25	1.36	0.68
1.50	0.56	1.13	1.50	0.93	0.93	1.50	1.48	0.74
2.00	0.65	1.30	2.00	1.05	1.05	2.00	1.63	0.81
2.50	0.72	1.44	2.50	1.14	1.14	2.50	1.79	0.89
3.00	0.77	1.54	3.00	1.19	1.19	3.00	1.88	0.94
3.50	0.81	1.62	3.50	1.22	1.22	3.50	1.95	0.98
4.00	0.82	1.64	4.00	1.23	1.23	4.00	1.99	1.00
4.50	0.84	1.67	4.50	1.21	1.21	4.50	2.02	1.01
5.00	0.81	1.62	5.00	1.17	1.17	5.00	2.05	1.02
6.00	0.77	1.54	6.00	1.13	1.13	6.00	2.07	1.03
7.00	0.77	1.54	7.00	1.11	1.11	7.00	2.08	1.04
8.00	0.75	1.49	8.00	1.11	1.11	8.00	2.08	1.04
9.00	0.75	1.51	9.00	1.12	1.12	9.00	2.09	1.04
10.00	0.77	1.54	10.00	1.15	1.15	10.00	2.10	1.05
11.00	0.77	1.54	11.00	1.15	1.15	11.00	2.10	1.05
12.00	0.77	1.54	12.00	1.15	1.15	12.00	2.09	1.05
13.00	0.77	1.54	13.00	1.15	1.15	13.00	2.09	1.05
14.00	0.77	1.54	14.00	1.15	1.15	14.00	2.09	1.05
15.00	0.77	1.54	15.00	1.15	1.15	15.00	2.09	1.04

Observaciones: Material utilizado pasante Tamiz N°4, material remoldeado a una densidad de 2.13 g/cm3. La muestra presenta restos de minerales.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

ENSAYO DE CORTE DIRECTO
NTP 339.171/ ASTM D 3080

Tesis: "Propuesta del Rediseño de Taludes para la Estabilidad Física en la Remediación y Cierre de un Depósito de Desmontes en Cerro de Pasco."

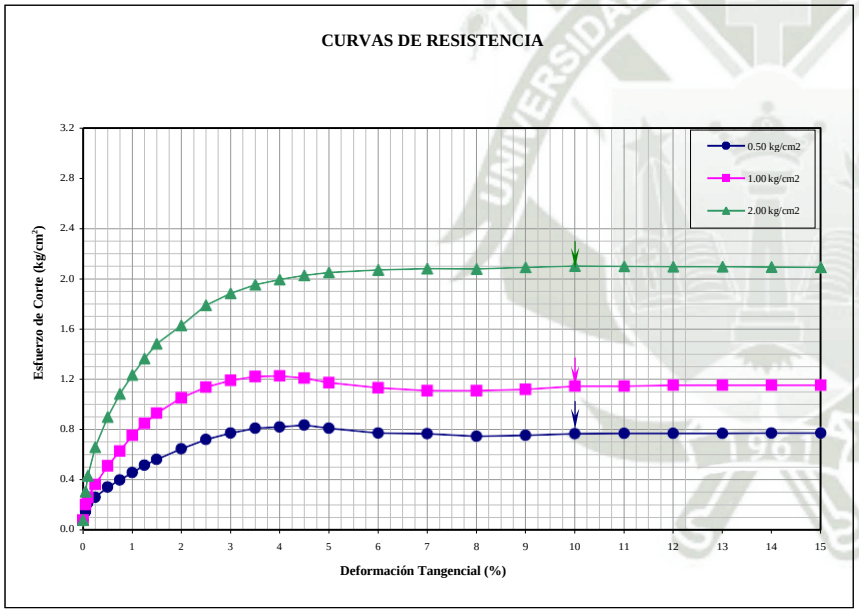
Ubicación: Cerro de Pasco - Perú

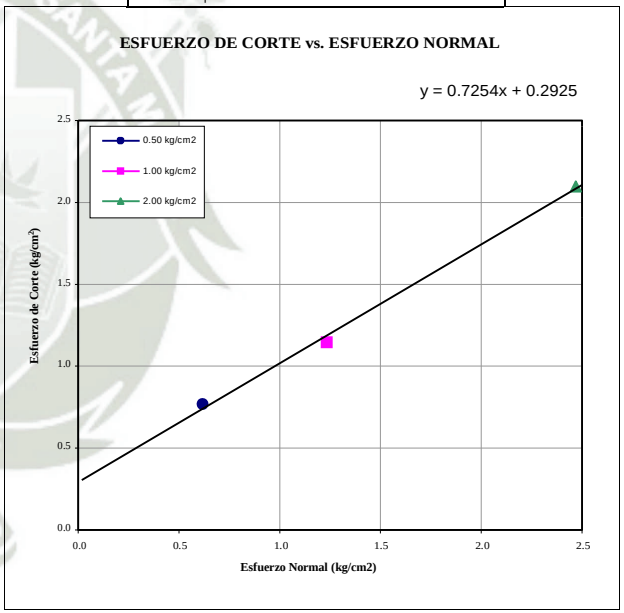
Sondeo: TRI-4
Muestra: M-1
Profundidad (m): 0.30-3.00
Ubicación: Depósito de Desmontes

Clasificación SUCS (muestra original) SC-SM
Estado de la Muestra: Remoldeada

RESULTADOS:

C' =	**0.29**	kg/cm^2
ϕ' =	**36.0**	º





Observación Material utilizado pasante Tamiz N° 4, material remoldeado a una densidad de 2.13 g/cm3. La muestra presenta restos de minerales.

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

ENSAYO DE CORTE DIRECTO

NTP 339,171/ ASTM D 3080

Tesis: "Propuesta del Rediseño de Taludes para la Estabilidad Física en la Remediación y Cierre de un Depósito de Desmontes en Cerro de Pasco."

Ubicación: Cerro de Pasco - Perú

Sondeo: TRI-6
Muestra: M-2
Profundidad (m): 2.00-3.00
Ubicación: Depósito de Desmontes

Clasificación SUCS (muestra original): GC
Estado de la muestra: Remoldeada
Velocidad de ensayo: 0.3 mm/min.

DATOS		ESPECIMEN 01		ESPECIMEN 02		ESPECIMEN 03	
Esfuerzo Normal	(kg/cm^2)	0.50		1.00		2.00	
Etapa		Inicial	Final	Inicial	Final	Inicial	Final
Altura	(cm)	2.00	1.98	2.00	1.96	2.00	1.92
Lado	(cm)	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00
Peso seco	(g)	128.60	128.60	128.40	128.40	128.20	128.20
Densidad Húmeda	(g/cm^3)	2.00	2.12	2.00	2.12	2.00	2.14
Humedad	(%)	11.82	17.42	11.99	16.46	12.09	15.60
Densidad Seca	(g/cm^3)	1.79	1.80	1.78	1.82	1.78	1.85

ESPECIMEN 01			ESPECIMEN 02			ESPECIMEN 03		
Deform. Tangencial	Esfuerzo de Corte		Deform. Tangencial	Esfuerzo de Corte		Deform. Tangencial	Esfuerzo de Corte	
	Tangencial	Normalizado		Tangencial	Normalizado		Tangencial	Normalizado
(%)	(kg/cm^2)	(kg/cm^2)	(%)	(kg/cm^2)	(kg/cm^2)	(%)	(kg/cm^2)	(kg/cm^2)
0.00	0.08	0.16	0.00	0.08	0.08	0.00	0.08	0.04
0.05	0.15	0.30	0.05	0.25	0.25	0.05	0.35	0.18
0.10	0.17	0.34	0.10	0.32	0.32	0.10	0.47	0.23
0.25	0.24	0.48	0.25	0.46	0.46	0.25	0.68	0.34
0.50	0.35	0.71	0.50	0.62	0.62	0.50	0.89	0.44
0.75	0.47	0.94	0.75	0.77	0.77	0.75	1.07	0.54
1.00	0.55	1.10	1.00	0.87	0.87	1.00	1.19	0.59
1.25	0.56	1.13	1.25	0.92	0.92	1.25	1.28	0.64
1.50	0.58	1.15	1.50	0.98	0.98	1.50	1.38	0.69
2.00	0.58	1.16	2.00	1.05	1.05	2.00	1.51	0.76
2.50	0.58	1.16	2.50	1.10	1.10	2.50	1.61	0.81
3.00	0.60	1.19	3.00	1.15	1.15	3.00	1.70	0.85
3.50	0.60	1.20	3.50	1.19	1.19	3.50	1.77	0.88
4.00	0.60	1.21	4.00	1.21	1.21	4.00	1.83	0.91
4.50	0.62	1.24	4.50	1.26	1.26	4.50	1.91	0.95
5.00	0.62	1.24	5.00	1.30	1.30	5.00	1.98	0.99
6.00	0.64	1.28	6.00	1.36	1.36	6.00	2.08	1.04
7.00	0.66	1.32	7.00	1.41	1.41	7.00	2.16	1.08
8.00	0.69	1.38	8.00	1.45	1.45	8.00	2.20	1.10
9.00	0.71	1.42	9.00	1.48	1.48	9.00	2.25	1.12
10.00	0.72	1.44	10.00	1.49	1.49	10.00	2.26	1.13
11.00	0.71	1.43	11.00	1.49	1.49	11.00	2.26	1.13
12.00	0.72	1.43	12.00	1.49	1.49	12.00	2.26	1.13
13.00	0.72	1.43	13.00	1.49	1.49	13.00	2.26	1.13
14.00	0.72	1.43	14.00	1.49	1.49	14.00	2.26	1.13
15.00	0.71	1.43	15.00	1.49	1.49	15.00	2.26	1.13

Observaciones: Material utilizado pasante Tamiz N°4, material remoldeado a una densidad de 2.00 g/cm3. La muestra presenta restos de minerales.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

ENSAYO DE CORTE DIRECTO
NTP 339.171/ ASTM D 3080

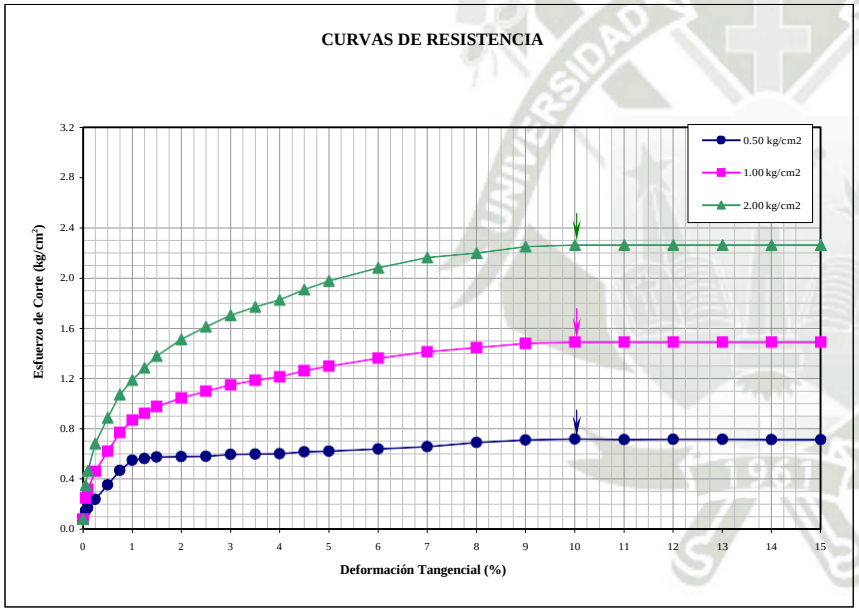
Tesis: "Propuesta del Rediseño de Taludes para la Estabilidad Física en la Remediación y Cierre de un Depósito de Desmontes en Cerro de Pasco."

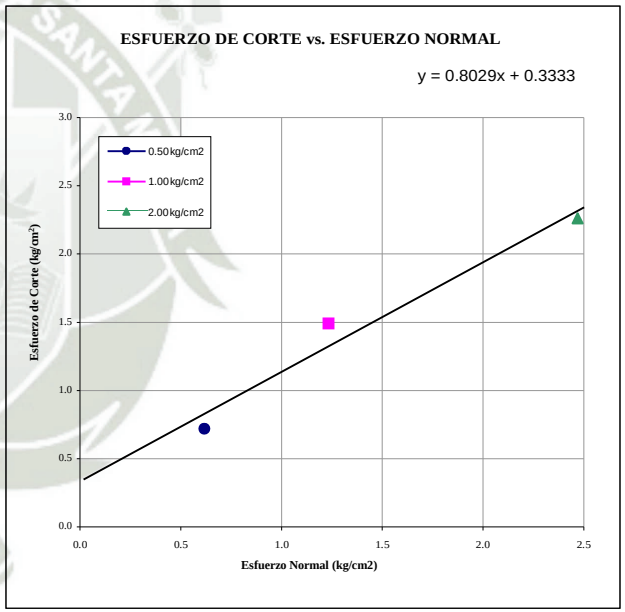
Ubicación: Cerro de Pasco - Perú

Sondeo: TRI-6
Muestra: M-2 **Clasificación SUCS (muestra original)** GC
Profundidad (m): 2.00-3.00 **Estado de la Muestra:** Remoldeada
Ubicación: Depósito de Desmontes

RESULTADOS:

C' =	**0.33**	kg/cm^2
ϕ' =	**38.8**	º





Observación Material utilizado pasante Tamiz N° 4, material remoldeado a una densidad de 2.00 g/cm3 .La muestra presenta restos de minerales.

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

ANEXO 03.C: REGISTRO DE ENSAYOS DE COMPRESIÓN TRIAXIAL

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

ENSAYO DE COMPRESIÓN TRIAXIAL

Consolidado - No drenado (CU)

ASTM - D4767

Tesis: "Propuesta del Rediseño de Taludes para la Estabilidad Física en la Remediación y Cierre de un Depósito de Desmontes en Cerro de Pasco."

N° de muestra/ Prof. (m): TRI-7/M-2/2,50-3,00 Ensayos realizados por: Ausenco

Ubicación: Cerro de Pasco – Perú

Estado: Remoldeado a Den Seca= 2,018 g/cm3 y w%= 9,0% **Clasificación SUCS:** -

Etapa de consolidación	Inicial	Final
Altura (cm)	21,40	20,79
Diámetro (cm)	10,17	9,71
Humedad (%)	9,00	12,28
Densidad seca (gr/cc)	2,018	2,281

Velocidad	(pulg/min)	0,01
Parámetro "B"		0,95
Presión de celda	kPa	607
Contra presión	kPa	207
Esf. Efect. Inicial	kPa	400

Deformación (%)	Esf. Desv. kPa	µ kPa	s3 kPa	s1 kPa	p kPa	q kPa	q/p	Oblicuidad (s1/s3)
0,00	0,00	0,00	400,00	400,00	400,00	0,00	0,00	1,00
0,05	53,90	2,46	397,54	451,44	424,49	26,95	0,06	1,14
0,10	91,18	6,32	393,68	484,85	439,27	45,59	0,10	1,23
0,20	164,25	16,52	383,48	547,73	465,61	82,12	0,18	1,43
0,35	233,62	31,32	368,68	602,30	485,49	116,81	0,24	1,63
0,50	284,04	48,91	351,09	635,13	493,11	142,02	0,29	1,81
0,75	344,25	82,65	317,35	661,60	489,47	172,13	0,35	2,08
1,00	374,12	106,88	293,12	667,24	480,18	187,06	0,39	2,28
1,25	403,17	136,98	263,02	666,19	464,61	201,58	0,43	2,53
1,50	415,46	154,82	245,18	660,64	452,91	207,73	0,46	2,69
1,75	427,84	177,99	222,01	649,86	435,93	213,92	0,49	2,93
2,00	435,27	195,38	204,62	639,89	422,26	217,64	0,52	3,13
2,50	440,45	215,28	184,72	625,17	404,95	220,23	0,54	3,38
3,00	446,63	228,97	171,03	617,66	394,34	223,32	0,57	3,61
3,50	451,38	237,94	162,06	613,44	387,75	225,69	0,58	3,79
4,00	456,14	244,16	155,84	611,98	383,91	228,07	0,59	3,93
4,50	459,05	247,99	152,01	611,07	381,54	229,53	0,60	4,02
5,00	461,48	250,43	149,57	611,05	380,31	230,74	0,61	4,09
6,00	468,55	254,32	145,68	614,23	379,95	234,27	0,62	4,22
7,00	476,08	256,19	143,81	619,90	381,85	238,04	0,62	4,31
8,00	483,57	256,32	143,68	627,26	385,47	241,79	0,63	4,37
9,00	491,05	255,29	144,71	635,76	390,23	245,52	0,63	4,39
10,00	496,02	254,37	145,63	641,65	393,64	248,01	0,63	4,41
11,00	502,00	251,62	148,38	650,38	399,38	251,00	0,63	4,38
12,00	507,63	250,56	149,44	657,07	403,26	253,82	0,63	4,40
13,00	509,64	250,14	149,86	659,50	404,68	254,82	0,63	4,40
14,00	512,59	249,28	150,72	663,30	407,01	256,29	0,63	4,40

Grado de Compactación: MEDIO

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

N° de muestra/ Prof. (m): TRI-7/M-2/2,50-3,00

Ubicación: Cerro de Pasco – Perú
Estado: Remoldeado a Den Seca= 2,018 g/cm3 y w%= 9,0% **Clasificación SUCS:** -

Etapa de consolidación	Inicial	Final
Altura (cm)	21,40	21,06
Diámetro (cm)	10,17	9,77
Humedad (%)	9,00	13,22
Densidad seca (gr/cc)	2,018	2,221

Velocidad (pulg/min)		0,01
Parámetro "B"		0,98
Presión de celda	kPa	407
Contra presión	kPa	207
Esf. Efect. Inicial	kPa	200

Deformación (%)	Esf. Desv. kPa	µ kPa	s3 kPa	s1 kPa	p kPa	q kPa	q/p	Oblicuidad (s1/s3)
0,00	0,00	0,00	200,00	200,00	200,00	0,00	0,00	1,00
0,05	49,41	3,75	196,25	245,66	220,96	24,70	0,11	1,25
0,10	74,63	8,76	191,24	265,88	228,56	37,32	0,16	1,39
0,20	108,03	17,91	182,09	290,12	236,10	54,02	0,23	1,59
0,35	140,02	33,12	166,88	306,90	236,89	70,01	0,30	1,84
0,50	157,25	46,90	153,10	310,35	231,73	78,62	0,34	2,03
0,75	175,02	67,56	132,44	307,46	219,95	87,51	0,40	2,32
1,00	183,61	80,33	119,67	303,29	211,48	91,81	0,43	2,53
1,25	189,24	94,16	105,84	295,08	200,46	94,62	0,47	2,79
1,50	191,81	101,10	98,90	290,71	194,81	95,91	0,49	2,94
1,75	192,94	108,57	91,43	284,37	187,90	96,47	0,51	3,11
2,00	192,06	111,58	88,42	280,47	184,45	96,03	0,52	3,17
2,50	194,09	121,11	78,89	272,98	175,94	97,04	0,55	3,46
3,00	193,80	126,67	73,33	267,13	170,23	96,90	0,57	3,64
3,50	193,03	131,95	68,05	261,08	164,56	96,52	0,59	3,84
4,00	193,44	134,01	65,99	259,43	162,71	96,72	0,59	3,93
4,50	194,19	136,98	63,02	257,21	160,12	97,10	0,61	4,08
5,00	194,24	136,53	63,47	257,70	160,59	97,12	0,60	4,06
6,00	198,11	138,30	61,70	259,81	160,76	99,05	0,62	4,21
7,00	198,56	140,34	59,66	258,22	158,94	99,28	0,62	4,33
8,00	201,84	140,35	59,65	261,49	160,57	100,92	0,63	4,38
9,00	207,19	140,10	59,90	267,09	163,49	103,59	0,63	4,46
10,00	210,92	140,34	59,66	270,58	165,12	105,46	0,64	4,54
11,00	214,00	139,10	60,90	274,90	167,90	107,00	0,64	4,51
12,00	215,78	138,24	61,76	277,54	169,65	107,89	0,64	4,49
13,00	218,50	138,61	61,39	279,89	170,64	109,25	0,64	4,56
14,00	221,80	137,01	62,99	284,79	173,89	110,90	0,64	4,52

Grado de Compactación: MEDIO

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

N° de muestra/ Prof. (m): TRI-7/M-2/2,50-3,00

Ubicación: Cerro de Pasco – Perú
Estado: Remoldeado a Den Seca= 2,018 g/cm3 y w%= 9,0% **Clasificación SUCS:** -

Etapa de consolidación	Inicial	Final
Altura (cm)	21,40	21,16
Diámetro (cm)	10,17	9,86
Humedad (%)	9,00	13,99
Densidad seca (gr/cc)	2,018	2,170

Velocidad	(pulg/min)	0,01
Parámetro "B"		0,96
Presión de celda	kPa	307
Contra presión	kPa	207
Esf. Efect. Inicial	kPa	100

Deformación (%)	Esf. Desv. kPa	μ kPa	s3 kPa	s1 kPa	p kPa	q kPa	q/p	Oblicuidad (s1/s3)
0,00	0,00	0,00	100,00	100,00	100,00	0,00	0,00	1,00
0,05	21,26	3,01	96,99	118,25	107,62	10,63	0,10	1,22
0,10	30,81	5,91	94,09	124,90	109,49	15,41	0,14	1,33
0,20	42,19	13,37	86,63	128,83	107,73	21,10	0,20	1,49
0,35	53,19	22,22	77,78	130,97	104,37	26,59	0,25	1,68
0,50	59,43	29,49	70,51	129,94	100,23	29,71	0,30	1,84
0,75	59,91	37,48	62,52	122,43	92,47	29,95	0,32	1,96
1,00	63,23	44,74	55,26	118,49	86,88	31,62	0,36	2,14
1,25	63,25	50,03	49,97	113,22	81,60	31,62	0,39	2,27
1,50	62,92	53,98	46,02	108,94	77,48	31,46	0,41	2,37
1,75	62,07	56,16	43,84	105,91	74,88	31,04	0,41	2,42
2,00	63,69	58,07	41,93	105,62	73,77	31,84	0,43	2,52
2,50	61,76	62,63	37,37	99,13	68,25	30,88	0,45	2,65
3,00	62,48	65,36	34,64	97,12	65,88	31,24	0,47	2,80
3,50	61,75	68,75	31,25	93,00	62,12	30,87	0,50	2,98
4,00	60,73	69,18	30,82	91,56	61,19	30,37	0,50	2,97
4,50	59,35	72,25	27,75	87,09	57,42	29,67	0,52	3,14
5,00	60,21	72,35	27,65	87,86	57,76	30,11	0,52	3,18
6,00	60,99	74,22	25,78	86,76	56,27	30,49	0,54	3,37
7,00	59,89	75,34	24,66	84,55	54,60	29,94	0,55	3,43
8,00	60,33	76,47	23,53	83,86	53,70	30,17	0,56	3,56
9,00	60,98	76,38	23,62	84,61	54,12	30,49	0,56	3,58
10,00	62,37	77,68	22,32	84,70	53,51	31,19	0,58	3,79
11,00	60,54	76,32	23,68	84,22	53,95	30,27	0,56	3,56
12,00	61,79	76,21	23,79	85,58	54,69	30,89	0,56	3,60
13,00	62,87	76,49	23,51	86,39	54,95	31,44	0,57	3,67
14,00	63,67	76,58	23,42	87,09	55,25	31,84	0,58	3,72

Grado de Compactación: MEDIO

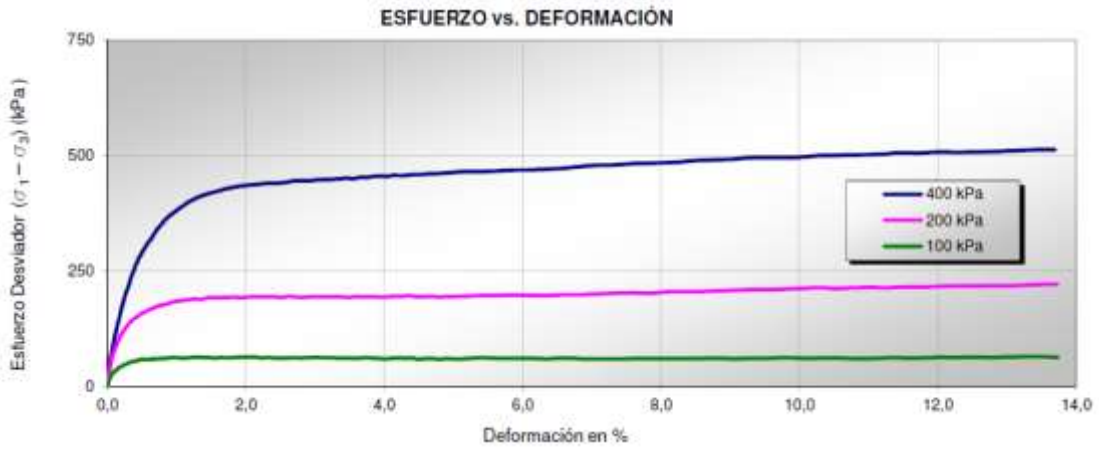
Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

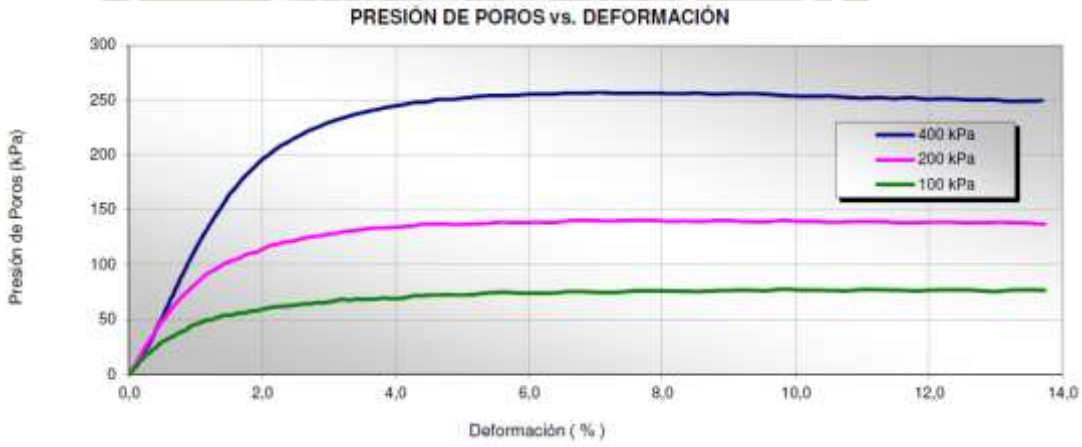
REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

N° de muestra/ Prof. (m): TRI-7/M-2/2,50-3,00

Ubicación: Cerro de Pasco – Perú
Estado: Remoldeado a Den Seca= 2,018 g/cm3 y w%= 9,0% **Clasificación SUCS:** -





Grado de Compactación: MEDIO

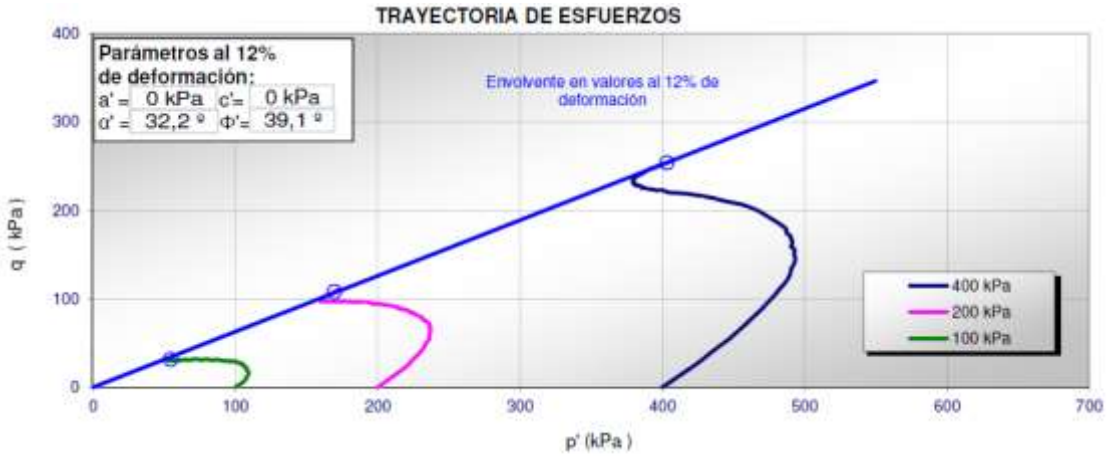
Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

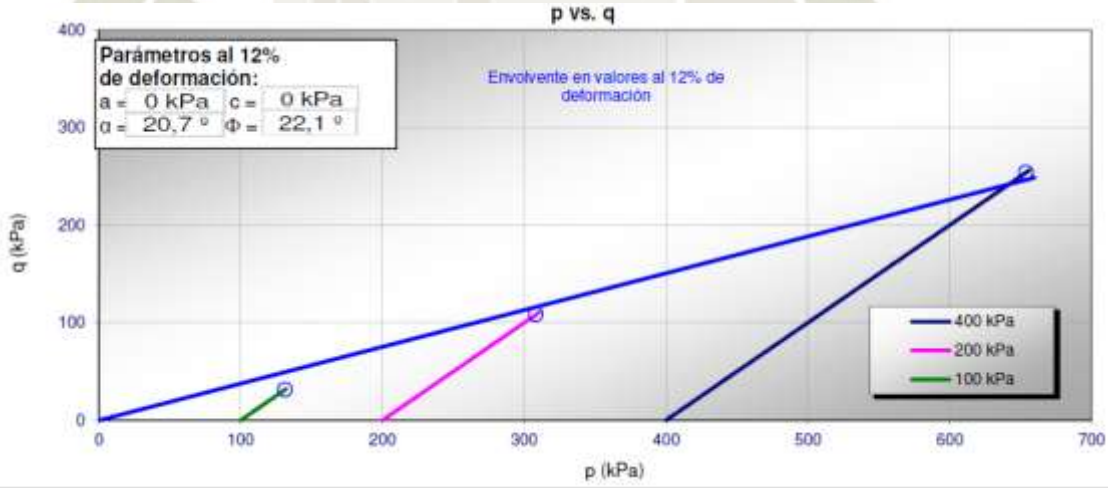
REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

N° de muestra/ Prof. (m): TRI-7/M-2/2,50-3,00

Ubicación: Cerro de Pasco – Perú
Estado: Remoldeado a Den Seca= 2,018 g/cm3 y w%= 9,0% **Clasificación SUCS: -**





Grado de Compactación: MEDIO

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

N° de muestra/ Prof. (m): TRI-7/M-2/2,50-3,00

Ubicación: Cerro de Pasco – Perú
Estado: Remoldeado a Den Seca= 2,018 g/cm3 y w%= 9,0% **Clasificación SUCS:** -

PANEL FOTOGRÁFICO







Grado de Compactación: MEDIO

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

N° de muestra/ Prof. (m): TRI-3/M-1/0,00-3,00

Ubicación: Cerro de Pasco – Perú
Estado: Remoldeado a Den Seca= 2,209 g/cm3 y w%= 5,0% **Clasificación SUCS:** -

Etapa de consolidación	Inicial	Final
Altura (cm)	31,00	30,72
Diámetro (cm)	15,15	14,97
Humedad (%)	5,00	9,44
Densidad seca (gr/cc)	2,209	2,285

Velocidad	(pulg/min)	0,01
Parámetro "B"		0,97
Presión de celda	kPa	607
Contra presión	kPa	207
Esf. Efect. Inicial	kPa	400

Deformación (%)	Esf. Desv. kPa	μ kPa	s3 kPa	s1 kPa	p kPa	q kPa	q/p	Oblicuidad (s1/s3)
0,00	0,00	0,00	400,00	400,00	400,00	0,00	0,00	1,00
0,05	59,20	1,12	398,88	458,08	428,48	29,60	0,07	1,15
0,10	125,89	4,83	395,17	521,06	458,12	62,94	0,14	1,32
0,20	210,27	14,21	385,79	596,06	490,93	105,14	0,21	1,55
0,35	293,73	28,15	371,85	665,59	518,72	146,87	0,28	1,79
0,50	373,89	45,20	354,80	728,69	541,74	186,94	0,35	2,05
0,75	466,35	73,24	326,76	793,11	559,94	233,18	0,42	2,43
1,00	523,69	97,29	302,71	826,40	564,55	261,85	0,46	2,73
1,25	556,94	115,60	284,40	841,34	562,87	278,47	0,49	2,96
1,50	593,88	140,14	259,86	853,75	556,80	296,94	0,53	3,29
1,75	608,44	154,76	245,24	853,68	549,46	304,22	0,55	3,48
2,00	623,18	172,99	227,01	850,20	538,60	311,59	0,58	3,75
2,50	630,52	194,52	205,48	836,00	520,74	315,26	0,61	4,07
3,00	634,43	207,58	192,42	826,84	509,63	317,21	0,62	4,30
3,50	636,95	215,40	184,60	821,54	503,07	318,47	0,63	4,45
4,00	638,81	221,12	178,88	817,69	498,29	319,40	0,64	4,57
4,50	645,12	223,92	176,08	821,20	498,64	322,56	0,65	4,66
5,00	650,98	224,16	175,84	826,82	501,33	325,49	0,65	4,70
6,00	664,79	224,66	175,34	840,13	507,74	332,40	0,65	4,79
7,00	683,51	221,63	178,37	861,88	520,13	341,75	0,66	4,83
8,00	706,45	216,30	183,70	890,15	536,93	353,22	0,66	4,85
9,00	720,63	212,74	187,26	907,89	547,58	360,32	0,66	4,85
10,00	737,64	208,66	191,34	928,99	560,16	368,82	0,66	4,86
11,00	753,84	205,18	194,82	948,67	571,74	376,92	0,66	4,87
12,00	761,84	202,81	197,19	959,03	578,11	380,92	0,66	4,86
13,00	769,67	198,50	201,50	971,17	586,34	384,83	0,66	4,82
14,00	772,56	196,29	203,71	976,27	589,99	386,28	0,65	4,79

Grado de Compactación: ALTO

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

N° de muestra/ Prof. (m): TRI-3/M-1/0,00-3,00

Ubicación: Cerro de Pasco – Perú
Estado: Remoldeado a Den Seca= 2,209 g/cm3 y w%= 5,0% **Clasificación SUCS:** -

Etapa de consolidación	Inicial	Final
Altura (cm)	31,00	30,81
Diámetro (cm)	15,15	14,99
Humedad (%)	5,00	10,44
Densidad seca (gr/cc)	2,209	2,271

Velocidad	(pulg/min)	0,01
Parámetro "B"		0,93
Presión de celda	kPa	407
Contra presión	kPa	207
Esf. Efect. Inicial	kPa	200

Deformación (%)	Esf. Desv. kPa	μ kPa	s3 kPa	s1 kPa	p kPa	q kPa	q/p	Oblicuidad (s1/s3)
0,00	0,00	0,00	200,00	200,00	200,00	0,00	0,00	1,00
0,05	68,07	5,31	194,69	262,76	228,72	34,03	0,15	1,35
0,10	109,60	13,46	186,54	296,15	241,35	54,80	0,23	1,59
0,20	152,62	24,66	175,34	327,96	251,65	76,31	0,30	1,87
0,35	208,00	43,89	156,11	364,11	260,11	104,00	0,40	2,33
0,50	242,60	57,72	142,28	384,88	263,58	121,30	0,46	2,71
0,75	275,21	76,67	123,33	398,54	260,94	137,60	0,53	3,23
1,00	293,73	89,21	110,79	404,51	257,65	146,86	0,57	3,65
1,25	300,55	95,85	104,15	404,70	254,43	150,27	0,59	3,89
1,50	307,46	102,37	97,63	405,08	251,35	153,73	0,61	4,15
1,75	312,55	106,01	93,99	406,54	250,26	156,27	0,62	4,33
2,00	318,49	109,34	90,66	409,15	249,91	159,24	0,64	4,51
2,50	326,50	111,54	88,46	414,96	251,71	163,25	0,65	4,69
3,00	334,45	113,18	86,82	421,26	254,04	167,22	0,66	4,85
3,50	344,36	112,24	87,76	432,12	259,94	172,18	0,66	4,92
4,00	350,94	112,05	87,95	438,89	263,42	175,47	0,67	4,99
4,50	359,12	110,11	89,89	449,01	269,45	179,56	0,67	5,00
5,00	364,77	109,74	90,26	455,03	272,64	182,38	0,67	5,04
6,00	377,03	106,73	93,27	470,30	281,79	188,51	0,67	5,04
7,00	389,55	103,39	96,61	486,16	291,38	194,77	0,67	5,03
8,00	399,99	100,57	99,43	499,42	299,43	200,00	0,67	5,02
9,00	416,51	97,05	102,95	519,45	311,20	208,25	0,67	5,05
10,00	425,55	93,70	106,30	531,85	319,08	212,78	0,67	5,00
11,00	435,28	90,80	109,20	544,48	326,84	217,64	0,67	4,99
12,00	441,97	88,92	111,08	553,05	332,07	220,98	0,67	4,98
13,00	450,45	86,22	113,78	564,24	339,01	225,23	0,66	4,96
14,00	454,85	85,21	114,79	569,63	342,21	227,42	0,66	4,96

Grado de Compactación: ALTO

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

N° de muestra/ Prof. (m): TRI-3/M-1/0,00-3,00

Ubicación: Cerro de Pasco – Perú
Estado: Remoldeado a Den Seca= 2,209 g/cm3 y w%= 5,0% **Clasificación SUCS:** -

Etapa de consolidación	Inicial	Final
Altura (cm)	31,00	30,93
Diámetro (cm)	15,15	15,08
Humedad (%)	5,00	11,06
Densidad seca (gr/cc)	2,209	2,235

Velocidad	(pulg/min)	0,01
Parámetro "B"		0,92
Presión de celda	kPa	307
Contra presión	kPa	207
Esf. Efect. Inicial	kPa	100

Deformación (%)	Esf. Desv. kPa	μ kPa	s3 kPa	s1 kPa	p kPa	q kPa	q/p	Oblicuidad (s1/s3)
0,00	0,00	0,00	100,00	100,00	100,00	0,00	0,00	1,00
0,05	36,54	2,75	97,25	133,79	115,52	18,27	0,16	1,38
0,10	61,52	5,51	94,49	156,01	125,25	30,76	0,25	1,65
0,20	111,84	14,99	85,01	196,86	140,93	55,92	0,40	2,32
0,35	172,03	22,59	77,41	249,44	163,43	86,02	0,53	3,22
0,50	213,11	26,65	73,35	286,45	179,90	106,55	0,59	3,91
0,75	258,60	32,12	67,88	326,48	197,18	129,30	0,66	4,81
1,00	278,29	33,67	66,33	344,62	205,47	139,15	0,68	5,20
1,25	288,23	32,49	67,51	355,73	211,62	144,11	0,68	5,27
1,50	291,29	32,08	67,92	359,22	213,57	145,65	0,68	5,29
1,75	294,64	30,82	69,18	363,82	216,50	147,32	0,68	5,26
2,00	297,41	30,90	69,10	366,50	217,80	148,70	0,68	5,30
2,50	301,49	27,85	72,15	373,64	222,89	150,74	0,68	5,18
3,00	303,75	27,00	73,00	376,74	224,87	151,87	0,68	5,16
3,50	308,81	23,77	76,23	385,04	230,63	154,41	0,67	5,05
4,00	312,65	22,74	77,26	389,91	233,58	156,33	0,67	5,05
4,50	315,45	21,19	78,81	394,26	236,53	157,72	0,67	5,00
5,00	317,66	20,29	79,71	397,37	238,54	158,83	0,67	4,99
6,00	325,43	17,62	82,38	407,81	245,10	162,72	0,66	4,95
7,00	333,37	15,64	84,36	417,73	251,05	166,68	0,66	4,95
8,00	341,15	13,54	86,46	427,61	257,03	170,58	0,66	4,95
9,00	348,72	11,89	88,11	436,84	262,48	174,36	0,66	4,96
10,00	356,73	9,78	90,22	446,95	268,59	178,36	0,66	4,95
11,00	361,83	8,06	91,94	453,76	272,85	180,91	0,66	4,94
12,00	362,99	7,15	92,85	455,84	274,34	181,49	0,66	4,91
13,00	366,10	5,42	94,58	460,67	277,62	183,05	0,66	4,87
14,00	367,43	4,57	95,43	462,85	279,14	183,71	0,66	4,85

Grado de Compactación: ALTO

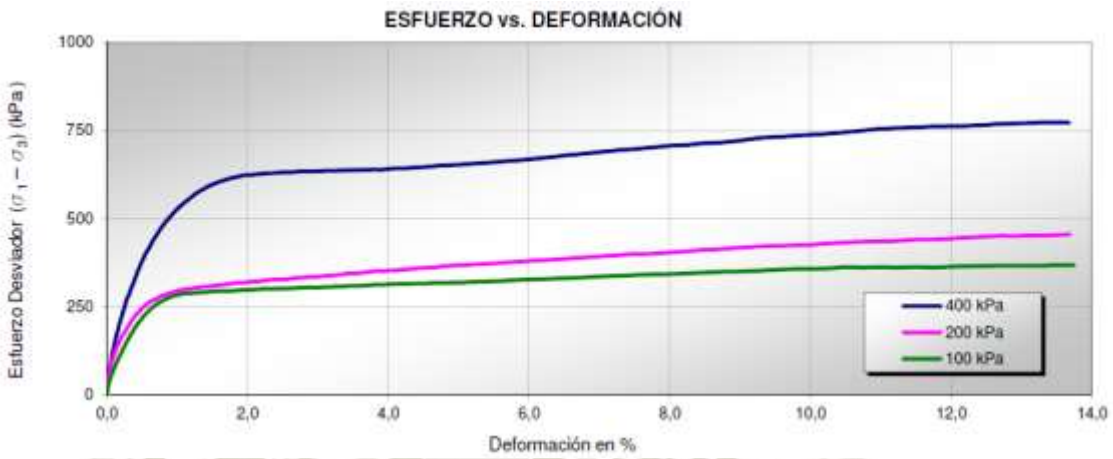
Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

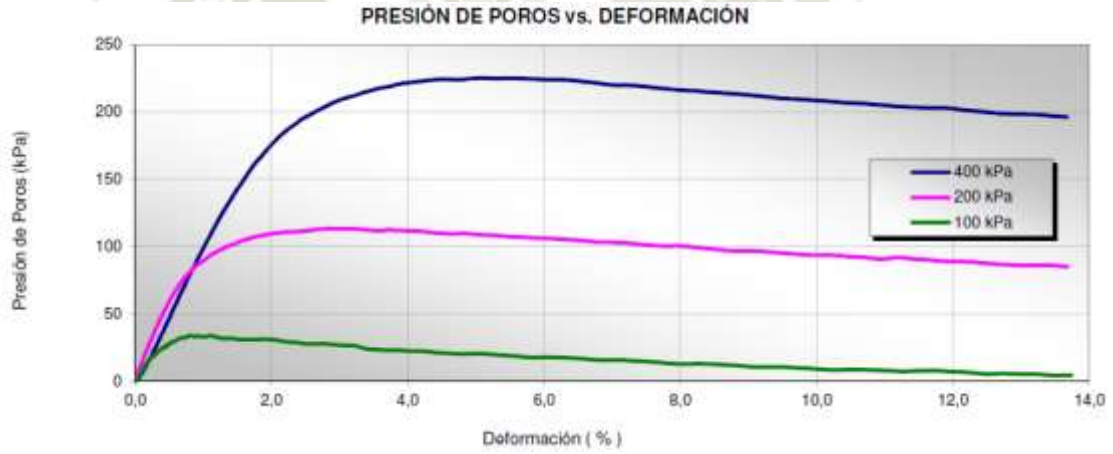
REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

N° de muestra/ Prof. (m): TRI-3/M-1/0,00-3,00

Ubicación: Cerro de Pasco – Perú
Estado: Remoldeado a Den Seca= 2,209 g/cm3 y w%= 5,0% **Clasificación SUCS:** -





Grado de Compactación: ALTO

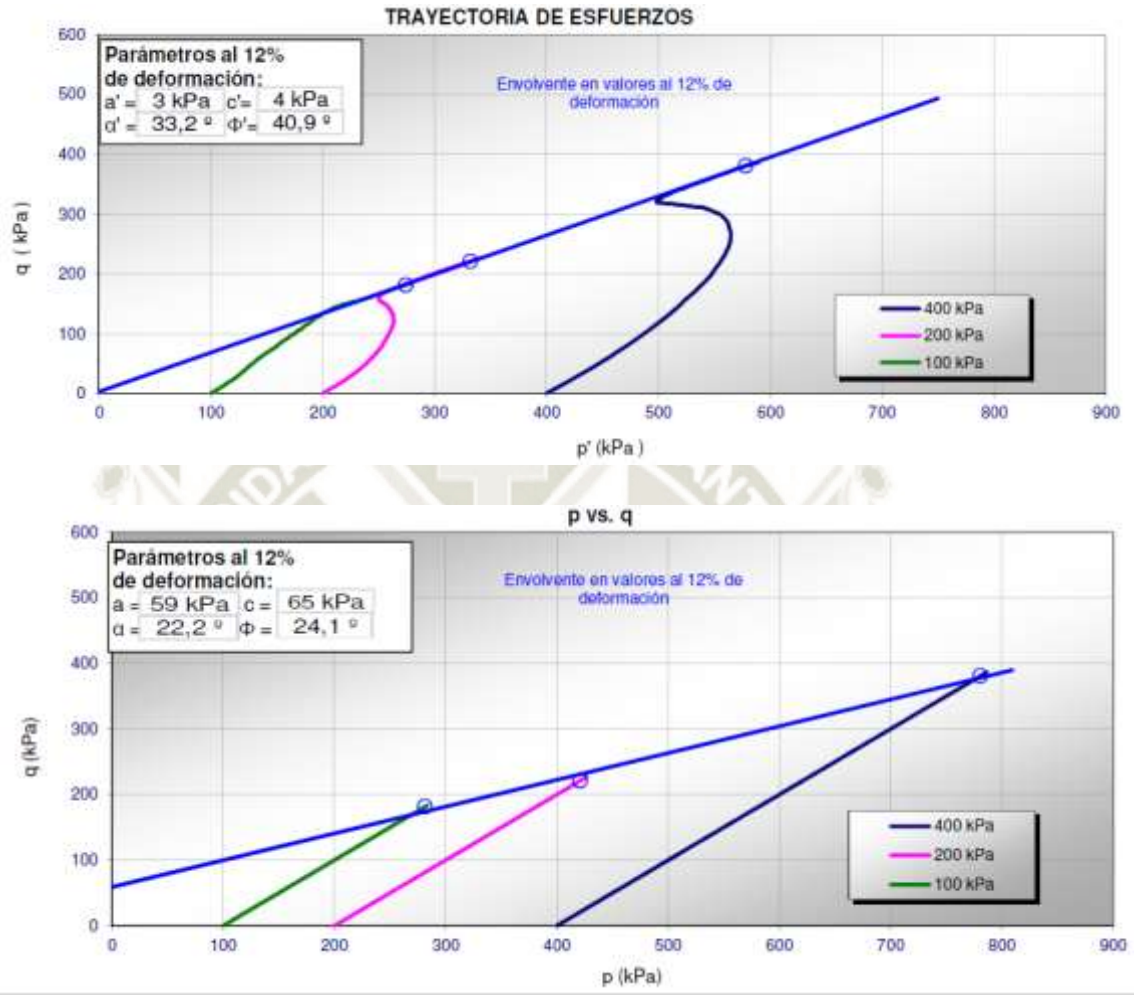
Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

N° de muestra/ Prof. (m): TRI-3/M-1/0,00-3,00

Ubicación: Cerro de Pasco – Perú
Estado: Remoldeado a Den Seca= 2,209 g/cm3 y w%= 5,0% **Clasificación SUCS:** -



Grado de Compactación: ALTO

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

N° de muestra/ Prof. (m): TRI-3/M-1/0,00-3,00

Ubicación: Cerro de Pasco – Perú
Estado: Remoldeado a Den Seca= 2,209 g/cm3 y w%= 5,0% **Clasificación SUCS:** -

PANEL FOTOGRÁFICO







Grado de Compactación: ALTO

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

ANEXO 03.D: REGISTRO DE ENSAYOS DE HUMEDAD

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Tesis: *"Propuesta del Rediseño de Taludes para la Estabilidad Física en la Remediación y Cierre de un Depósito de Desmontes en Cerro de Pasco."*

ENSAYOS REALIZADOS POR: CESEL INGENIEROS

Ubicación: *Cerro de Pasco - Perú*

Ensayo

Contenido de Humedad — ASTM D2216 - 10 Standard Test Methods for Laboratory Determination of Water (Moisture) Content of Soil and Rock by Mass

Sondeo	Muestra	Profundidad	Ubicación	Progresiva	Tipo de Material	Condición de la muestra	% Humedad
CAL-3	M-1	0.00-1.20	Depósito de Desmontes	---	Suelo	Muestra Alterada	11
CAL-4	M-1	0.00-1.00	Depósito de Desmontes	---	Suelo	Muestra Alterada	9
CAL-5	M-1	0.30-1.00	Depósito de Desmontes	---	Suelo	Muestra Alterada	16
CAL-6	M-1	0.10-1.20	Depósito de Desmontes	---	Suelo	Muestra Alterada	4
CAL-7	M-1	0.00-0.70	Depósito de Desmontes	---	Suelo	Muestra Alterada	7
CAL-7	M-2	0.70-1.10	Depósito de Desmontes	---	Suelo	Muestra Alterada	12
TRI-1	M-1	0.20-0.60	Depósito de Desmontes	---	Suelo	Muestra Alterada	6
TRI-1	M-2	0.60-2.50	Depósito de Desmontes	---	Suelo	Muestra Alterada	8
TRI-2	M-1	0.30-3.00	Depósito de Desmontes	---	Suelo	Muestra Alterada	8
TRI-3	M-1	0.00-3.00	Depósito de Desmontes	---	Suelo	Muestra Alterada	6
CAL-2	M-2	0.45-1.20	Depósito de Desmontes	---	Suelo	Muestra Alterada	19
TRI-4	M-1	0.30-3.00	Depósito de Desmontes	---	Suelo	Muestra Alterada	17
TRI-7	M-1	0.00-2.50	Depósito de Desmontes	---	Suelo	Muestra Alterada	18
TRI-6	M-2	2.00-3.00	Depósito de Desmontes	---	Suelo	Muestra Alterada	8
TRI-6	M-1	0.00-2.00	Depósito de Desmontes	---	Suelo	Muestra Alterada	7
TRI-7	M-2	2.50-3.00	Depósito de Desmontes	---	Suelo	Muestra Alterada	13
TRI-5	M-1	0.00-3.00	Depósito de Desmontes	---	Suelo	Muestra Alterada	10
CAL-1	M-2	1.00-2.00	Depósito de Desmontes	---	Suelo	Muestra Alterada	12
CAL-1	M-1	0.00-1.00	Depósito de Desmontes	---	Suelo	Muestra Alterada	14
CAL-2	M-1	0.00-0.45	Depósito de Desmontes	---	Suelo	Muestra Alterada	7
CAL-8	M-1	0.60-2.50	Depósito de Desmontes	---	Suelo	Muestra Alterada	13

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

ANEXO 04: ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DE TALUDES - SLIDE

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DE TALUDES EN EL DEPÓSITO DE DESMONTES MEDIANTE EL SOFTWARE SLIDE v6.0

Parámetros de Resistencia de los materiales presentes en el depósito de desmontes:

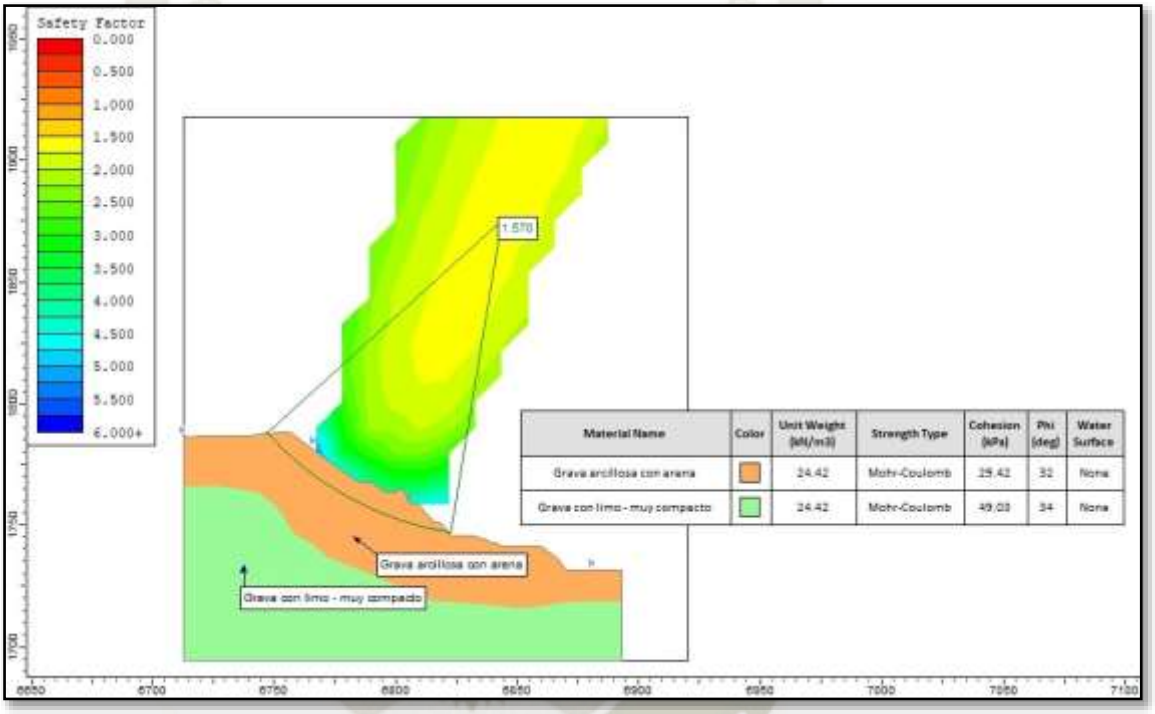
Sección	Progresiva (km)	Estrato	C' (kg/cm^2)	C' (kPa)	Φ' (°)	ϒ (gr/cm^3)	ϒ (kN/m^3)
1	0+450	Grava arcillosa con arena	0.30	29.42	32.0	2.49	24.42
		Grava con limo - muy compacto	0.50	49.03	34.0	2.49	24.42
2	1+300	Arena limosa con grava	0.29	28.44	36.0	2.51	24.61
		Grava con limo - muy compacto	0.20	19.61	38.0	2.51	24.61
		Depósito de relave	0.35	34.32	0.0	1.50	14.71
3	1+700	Grava arcillosa con arena	0.04	3.92	40.9	2.20	21.57
		Grava con limo - muy compacto	0.20	19.61	41.0	2.20	21.57
		Depósito de relave	0.35	34.32	0.0	1.50	14.71
4	1+900	Grava arcillosa con arena	0.34	33.34	34.6	2.14	20.99
		Grava con limo - muy compacto	0.20	19.61	36.0	2.30	22.56
		Depósito de relave	0.35	34.32	0.0	1.50	14.71
5	2+400	Grava arcillosa con arena (desmonte)	0.35	34.32	38.8	2.55	25.01
		Grava con limo - muy compacto	0.20	19.61	40.0	2.55	25.01
		Grava arcillosa con arena (suelo natural)	0.15	14.71	29.5	2.00	19.61
6	2+800	Grava limosa con arena (desmonte)	0.00	0.00	39.1	2.00	19.61
		Grava con limo - muy compacto	0.20	19.61	41.0	2.20	21.57
		Grava limosa con arena (suelo natural)	0.28	27.46	42.7	2.10	20.59
7	2+950	Grava limosa con arena (desmonte)	0.00	0.00	39.1	2.00	19.61
		Grava con limo - muy compacto	0.20	19.61	41.0	2.20	21.57
		Grava limosa con arena (suelo natural)	0.28	27.46	42.7	2.10	20.59
8	3+350	Grava arcillosa con arena	0.33	32.36	38.8	2.22	21.77
		Grava con limo - muy compacto	0.20	19.61	40.0	2.30	22.56
		Grava con limo	0.28	27.46	27.0	1.90	18.63

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

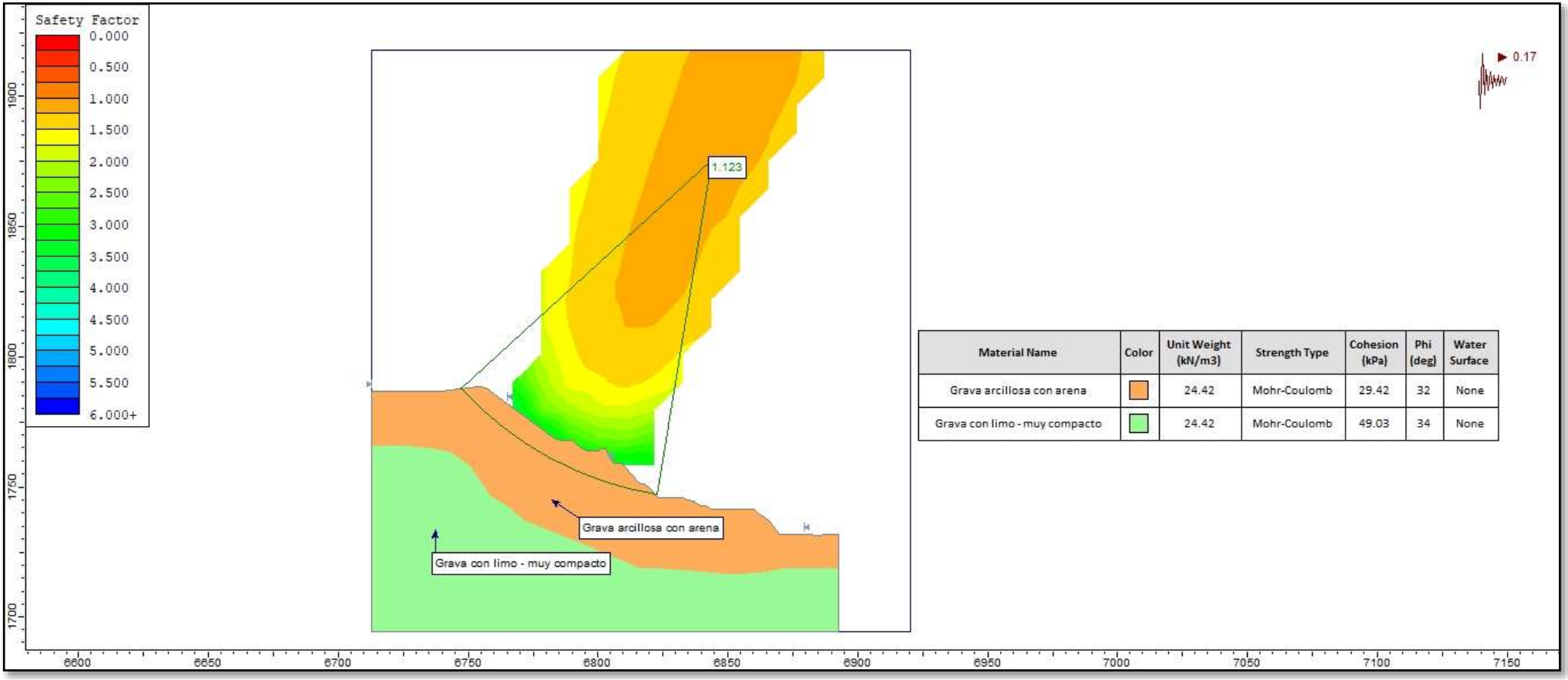
UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

SECCIONES DE TALUDES ORIGINALES DEL DEPOSITO DE DESMONTE



Sección 1 Condición Normal.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

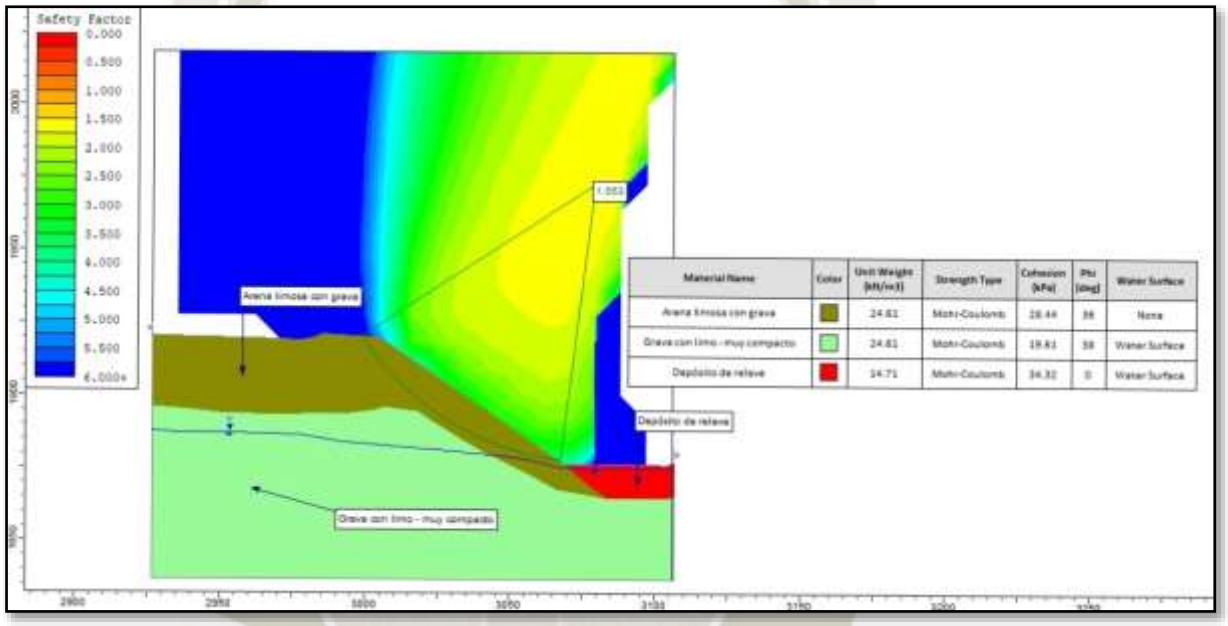


Material Name	Color	Unit Weight (kN/m3)	Strength Type	Cohesion (kPa)	Phi (deg)	Water Surface
Grava arcillosa con arena		24.42	Mohr-Coulomb	29.42	32	None
Grava con limo - muy compacto		24.42	Mohr-Coulomb	49.03	34	None

Sección 1 Condición Pseudo-estática.

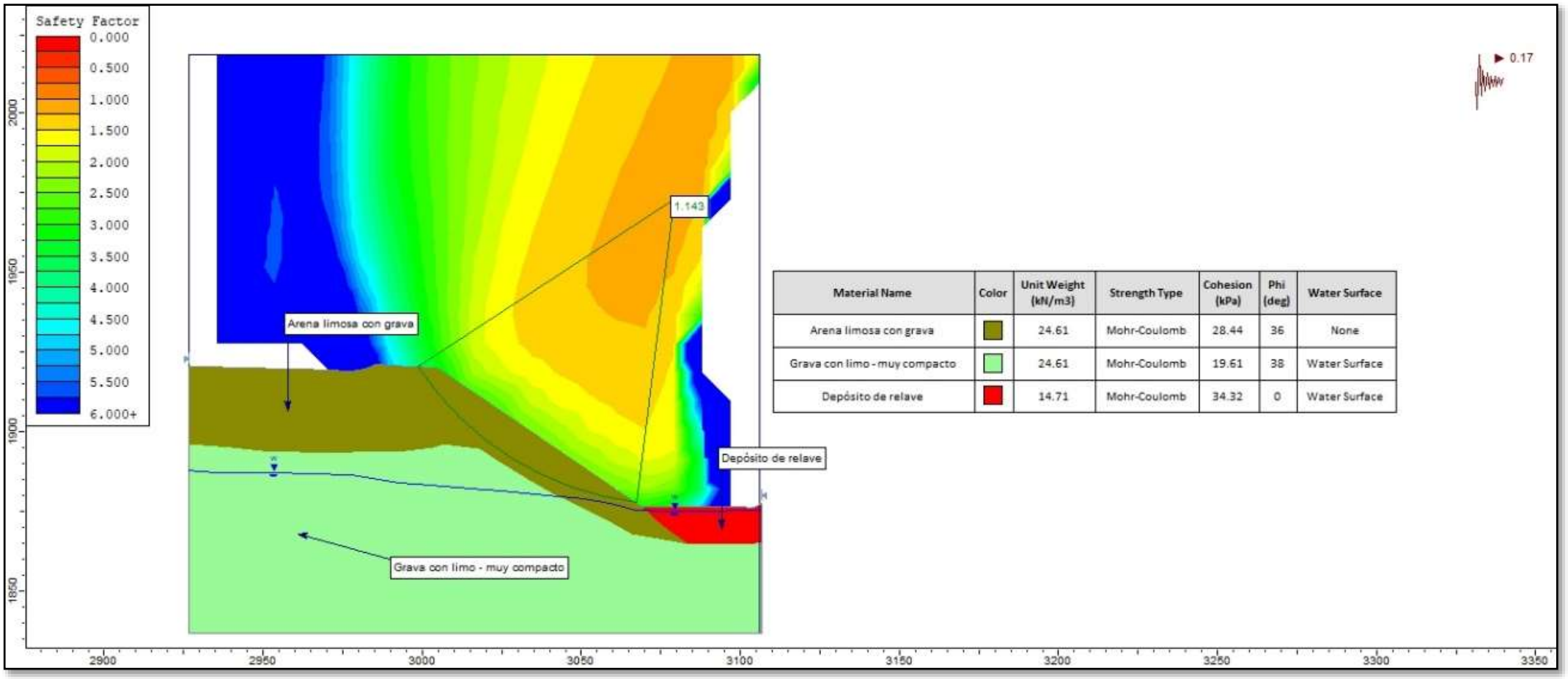
REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA



Sección 2 Condición Normal.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

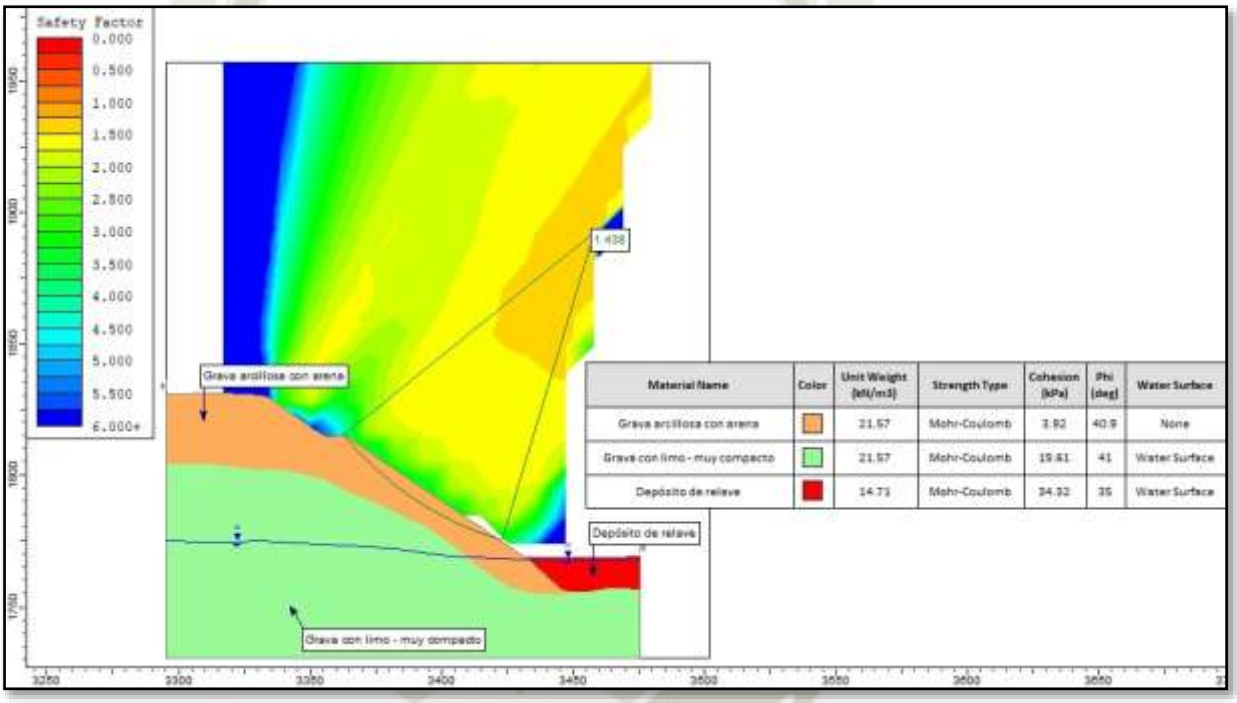


Material Name	Color	Unit Weight (kN/m3)	Strength Type	Cohesion (kPa)	Phi (deg)	Water Surface
Arena limosa con grava		24.61	Mohr-Coulomb	28.44	36	None
Grava con limo - muy compacto		24.61	Mohr-Coulomb	19.61	38	Water Surface
Depósito de relave		14.71	Mohr-Coulomb	34.32	0	Water Surface

Sección 2 Condición Pseudo-estática.

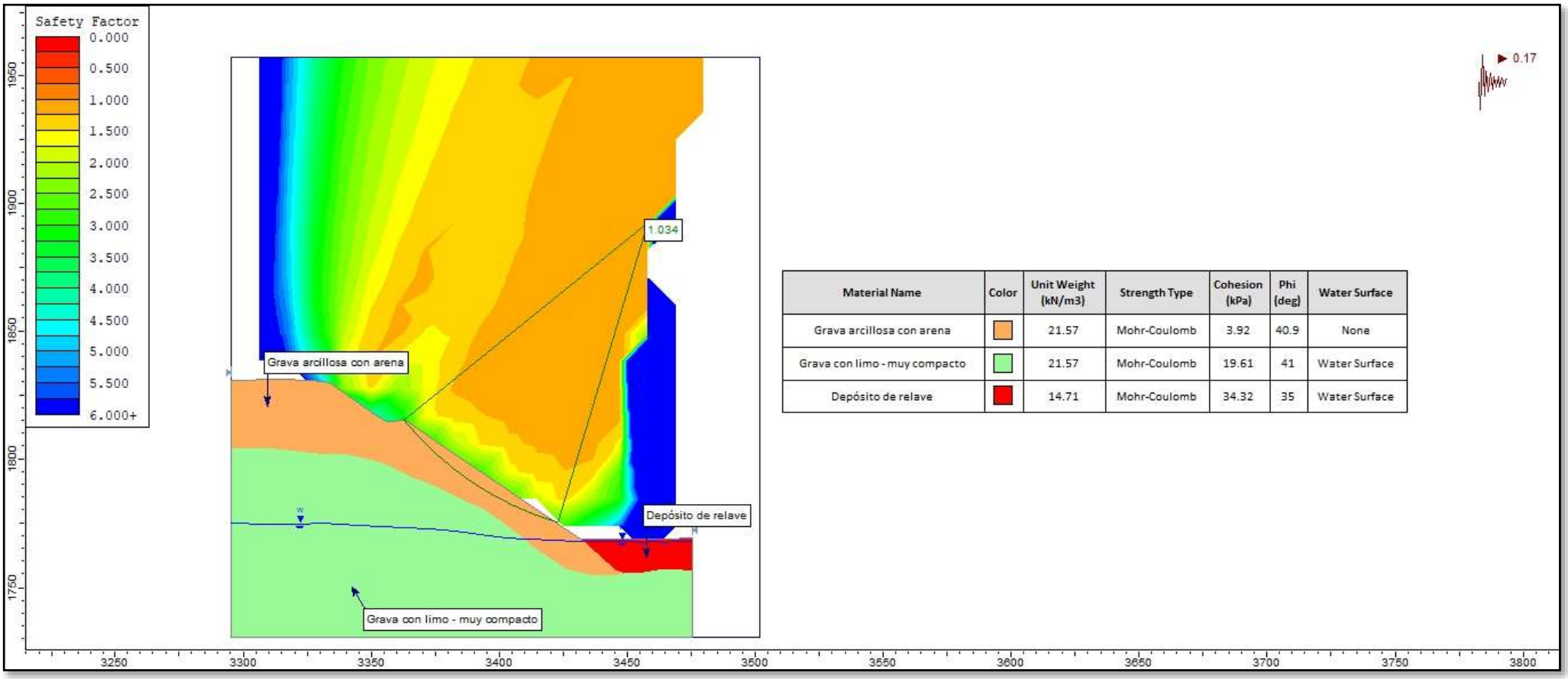
REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA



Sección 3 Condición Normal.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

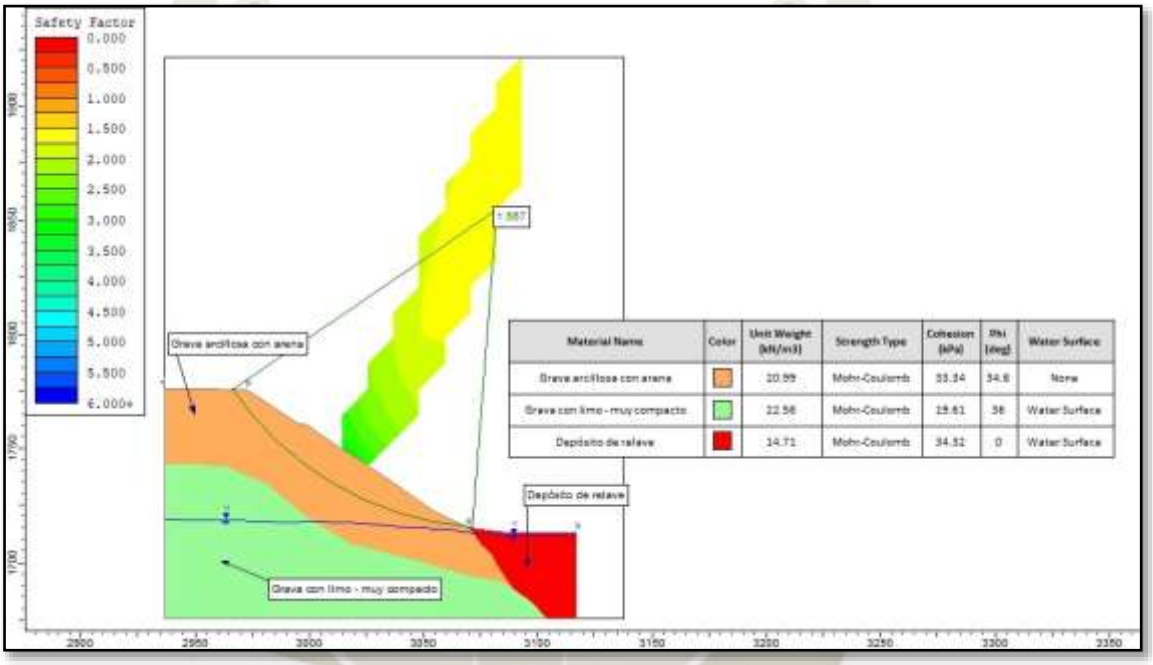


Material Name	Color	Unit Weight (kN/m3)	Strength Type	Cohesion (kPa)	Phi (deg)	Water Surface
Grava arcillosa con arena		21.57	Mohr-Coulomb	3.92	40.9	None
Grava con limo - muy compacto		21.57	Mohr-Coulomb	19.61	41	Water Surface
Depósito de relave		14.71	Mohr-Coulomb	34.32	35	Water Surface

Sección 3 Condición Pseudo-estática.

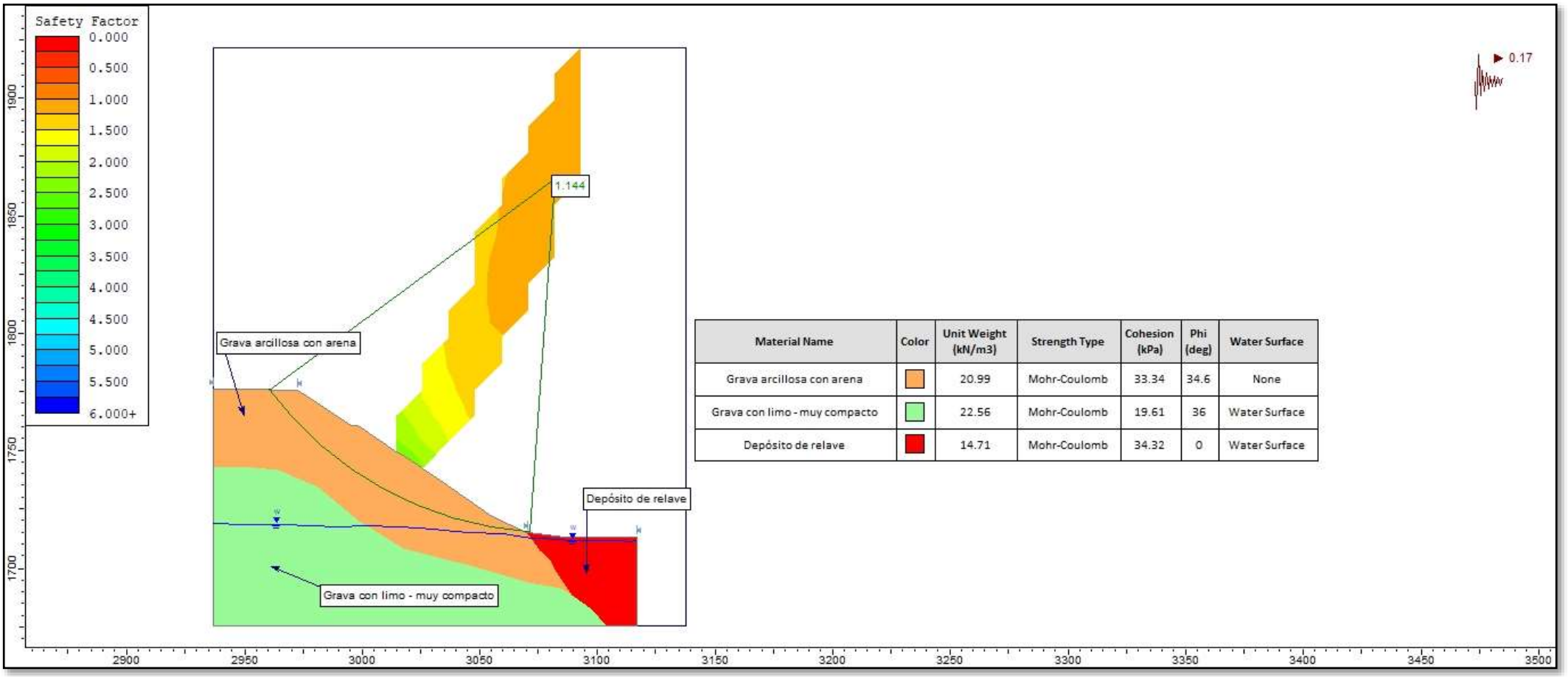
REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA



Sección 4 Condición Normal.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

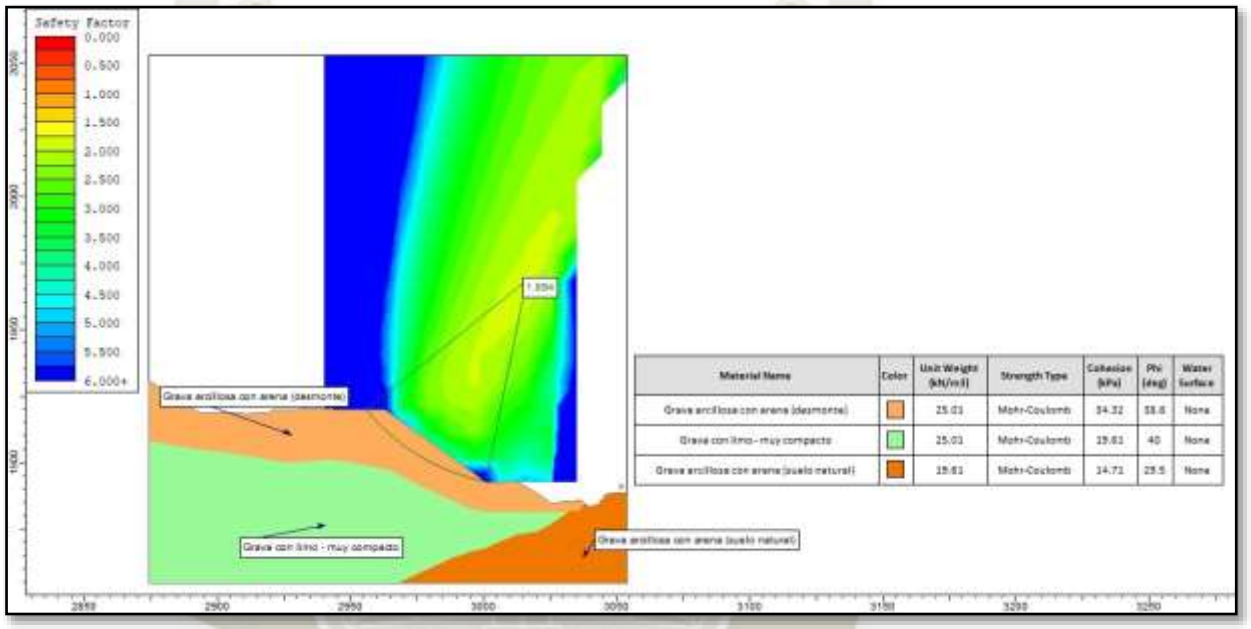


Material Name	Color	Unit Weight (kN/m3)	Strength Type	Cohesion (kPa)	Phi (deg)	Water Surface
Grava arcillosa con arena		20.99	Mohr-Coulomb	33.34	34.6	None
Grava con limo - muy compacto		22.56	Mohr-Coulomb	19.61	36	Water Surface
Depósito de relave		14.71	Mohr-Coulomb	34.32	0	Water Surface

Sección 4 Condición Pseudo-estático.

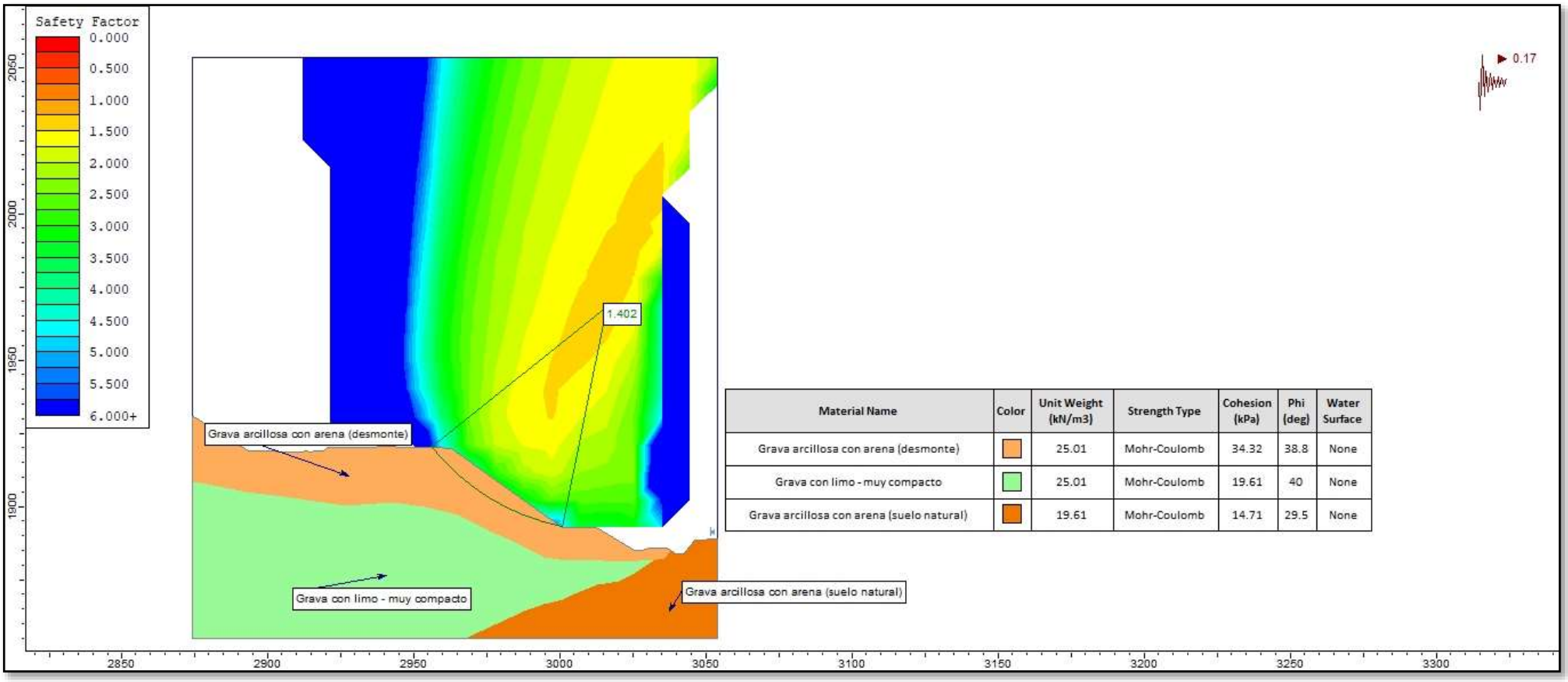
REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA



Sección 5 Condición Normal.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

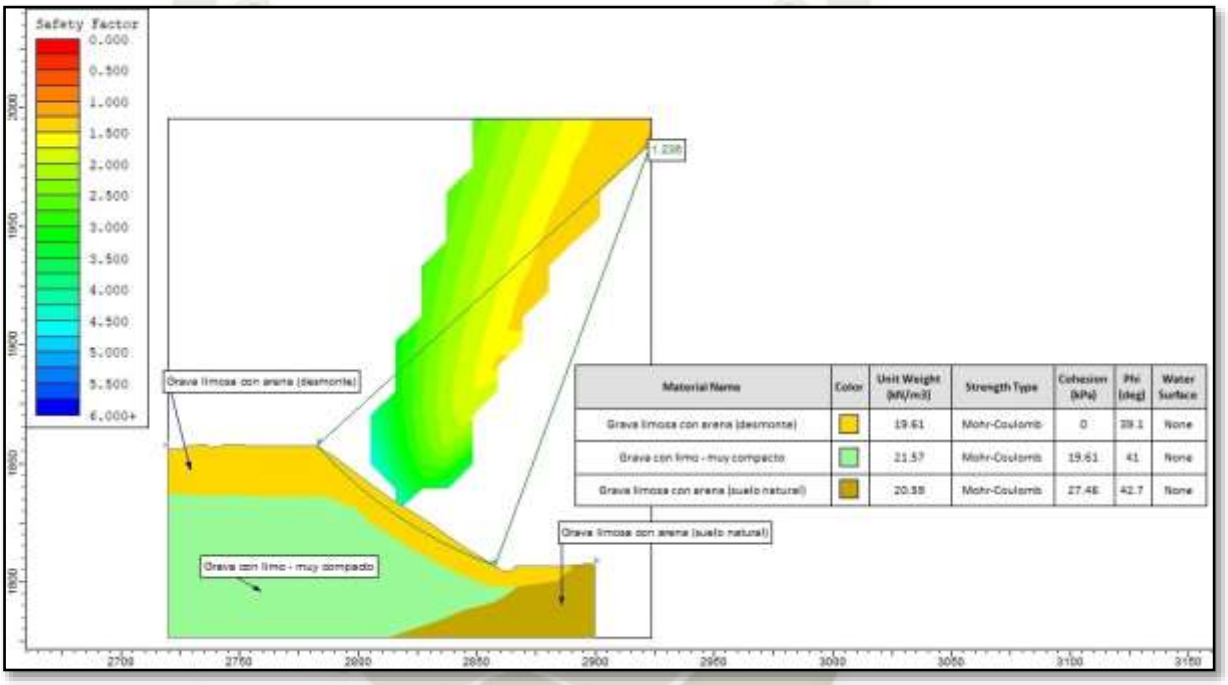


Material Name	Color	Unit Weight (kN/m3)	Strength Type	Cohesion (kPa)	Phi (deg)	Water Surface
Grava arcillosa con arena (desmonte)		25.01	Mohr-Coulomb	34.32	38.8	None
Grava con limo - muy compacto		25.01	Mohr-Coulomb	19.61	40	None
Grava arcillosa con arena (suelo natural)		19.61	Mohr-Coulomb	14.71	29.5	None

Sección 5 Condición Pseudo-estática.

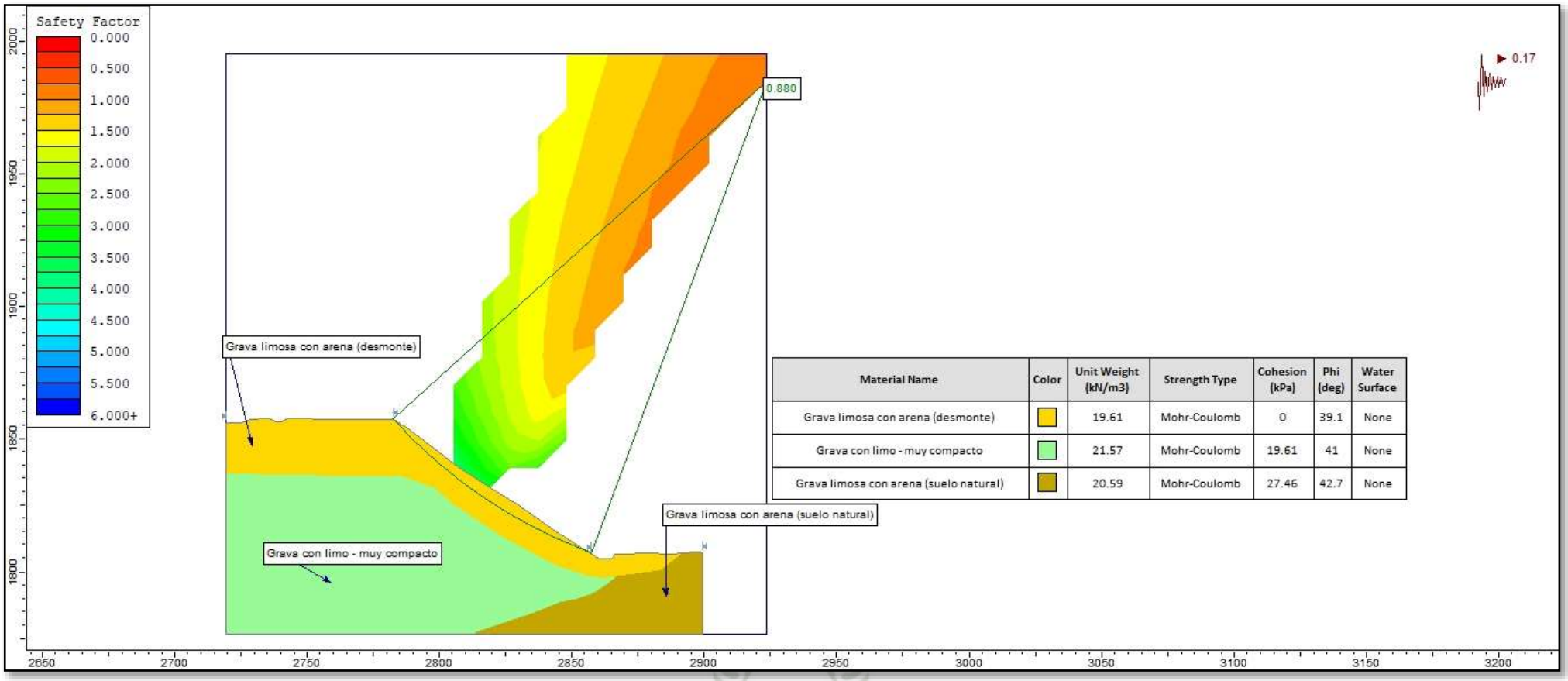
REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA



Sección 6 Condición Normal.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

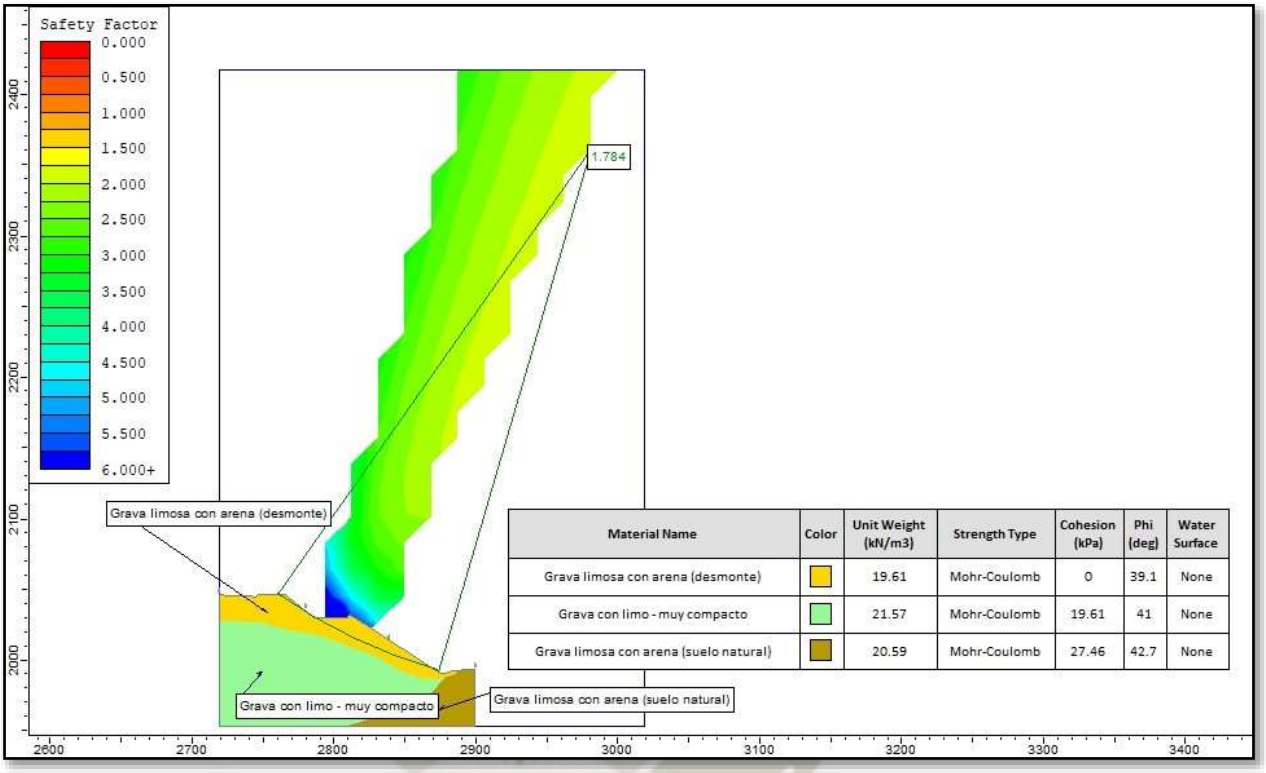


Material Name	Color	Unit Weight (kN/m3)	Strength Type	Cohesion (kPa)	Phi (deg)	Water Surface
Grava limosa con arena (desmonte)		19.61	Mohr-Coulomb	0	39.1	None
Grava con limo - muy compacto		21.57	Mohr-Coulomb	19.61	41	None
Grava limosa con arena (suelo natural)		20.59	Mohr-Coulomb	27.46	42.7	None

Sección 6 Condición Pseudo-estática.

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

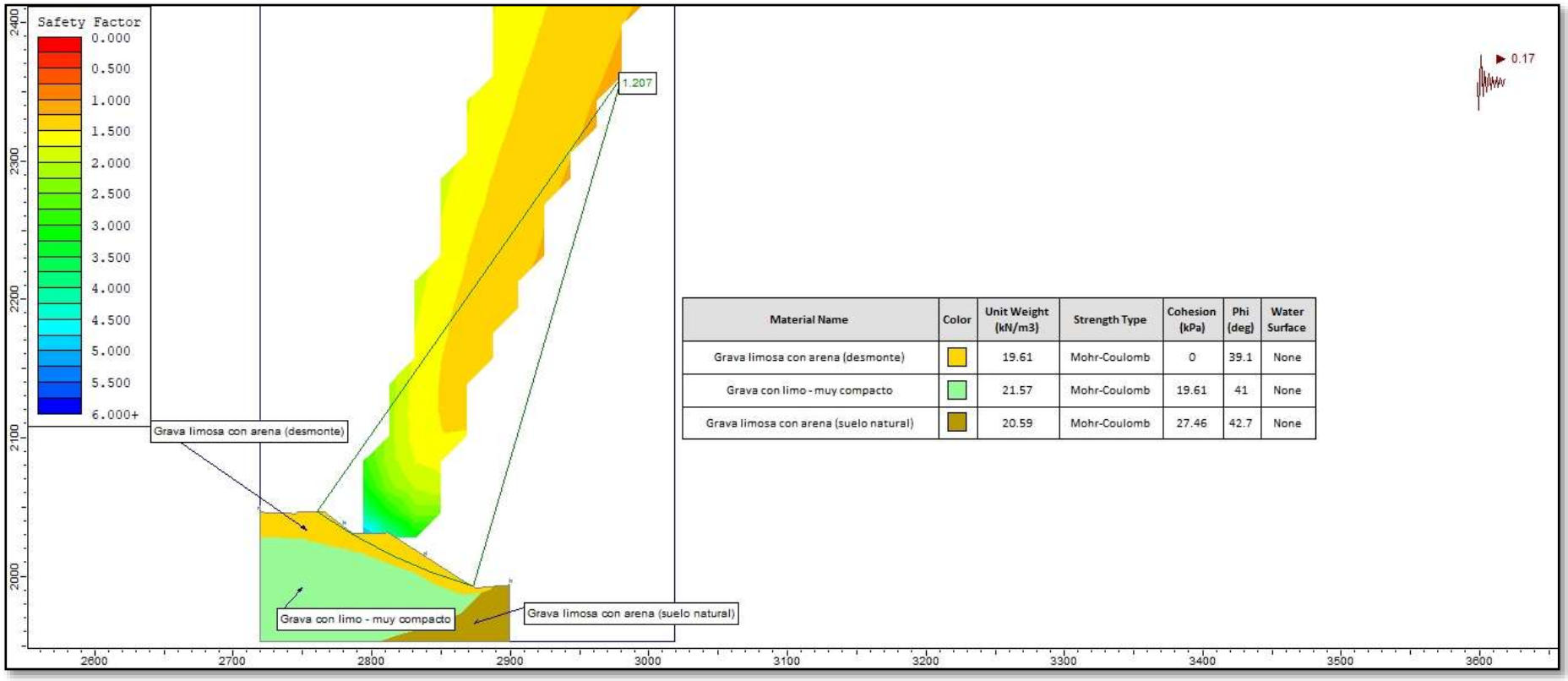
UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA



Material Name	Color	Unit Weight (kN/m3)	Strength Type	Cohesion (kPa)	Phi (deg)	Water Surface
Grava limosa con arena (desmonte)		19.61	Mohr-Coulomb	0	39.1	None
Grava con limo - muy compacto		21.57	Mohr-Coulomb	19.61	41	None
Grava limosa con arena (suelo natural)		20.59	Mohr-Coulomb	27.46	42.7	None

Sección 7 Condición Normal.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

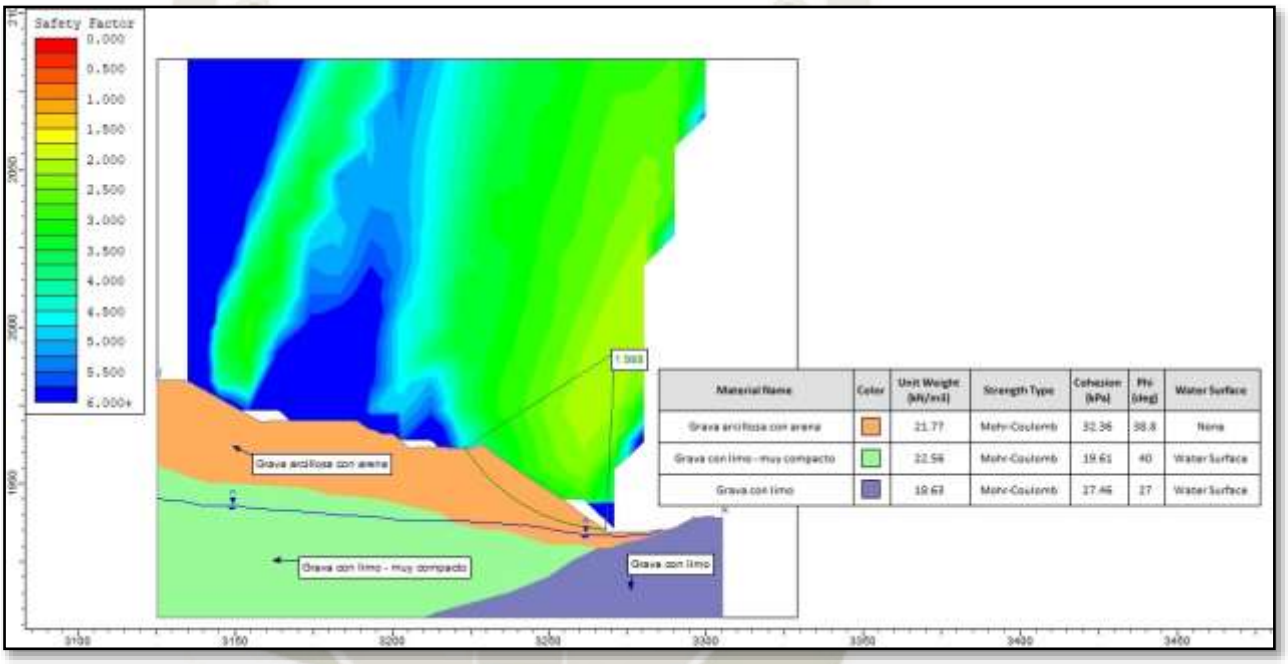


Material Name	Color	Unit Weight (kN/m3)	Strength Type	Cohesion (kPa)	Phi (deg)	Water Surface
Grava limosa con arena (desmonte)		19.61	Mohr-Coulomb	0	39.1	None
Grava con limo - muy compacto		21.57	Mohr-Coulomb	19.61	41	None
Grava limosa con arena (suelo natural)		20.59	Mohr-Coulomb	27.46	42.7	None

Sección 7 Condición Pseudo-estática.

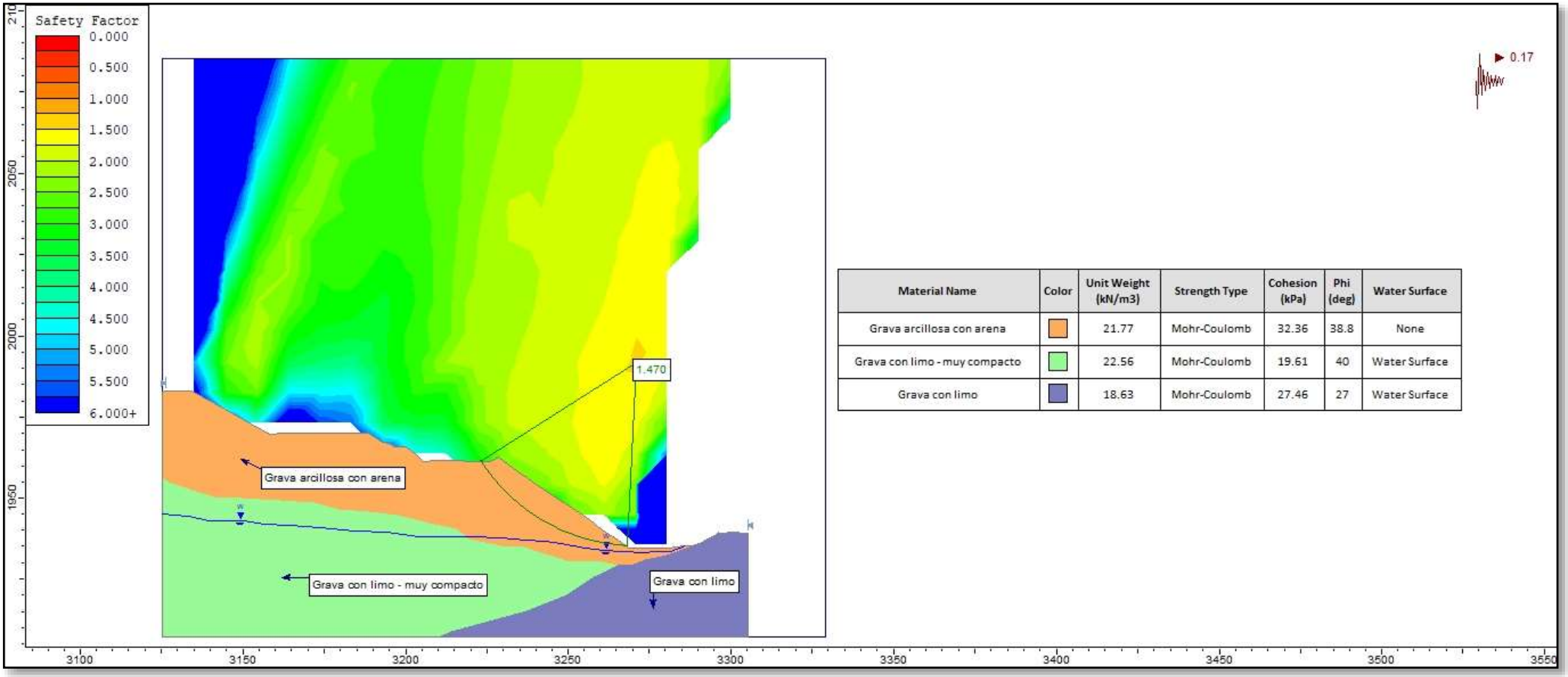
REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA



Sección 8 Condición Normal.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis



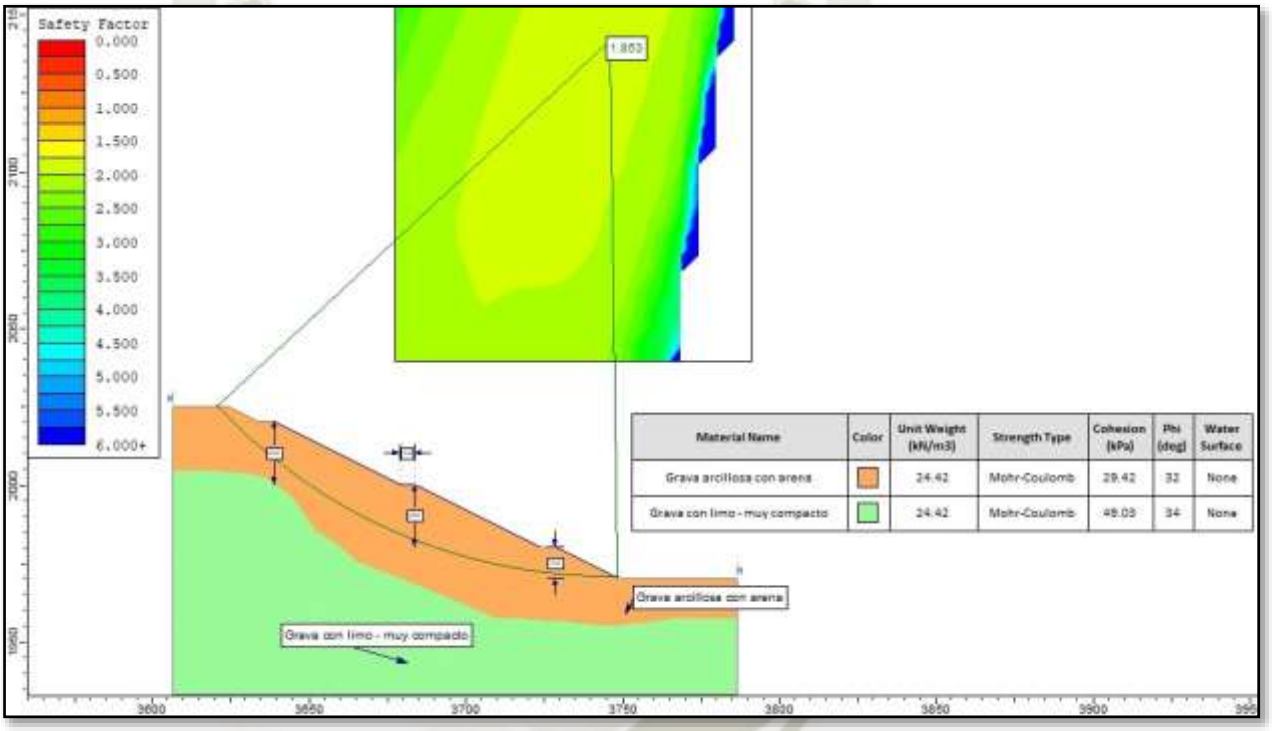
Material Name	Color	Unit Weight (kN/m3)	Strength Type	Cohesion (kPa)	Phi (deg)	Water Surface
Grava arcillosa con arena		21.77	Mohr-Coulomb	32.36	38.8	None
Grava con limo - muy compacto		22.56	Mohr-Coulomb	19.61	40	Water Surface
Grava con limo		18.63	Mohr-Coulomb	27.46	27	Water Surface

Sección 8 Condición Pseudo-estática.

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

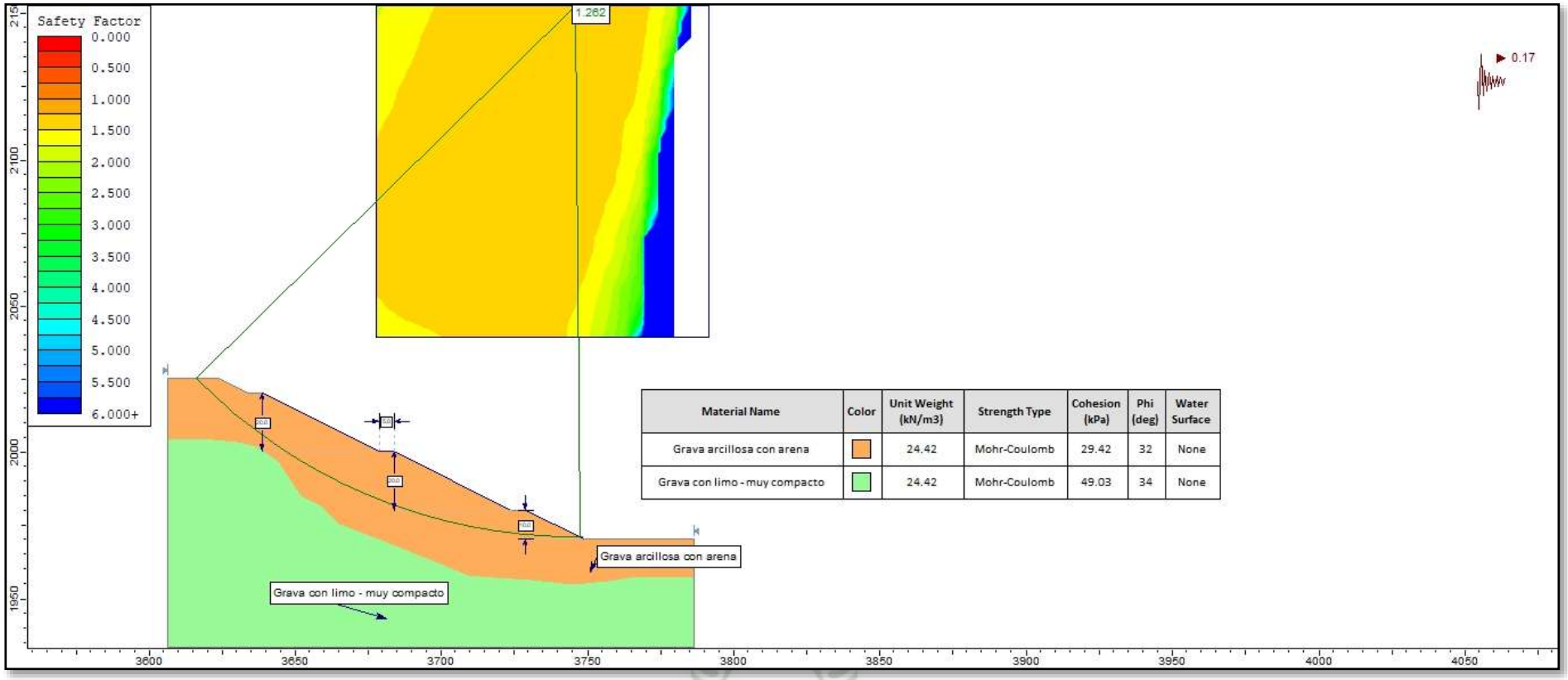
UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

SECCIONES DE TALUDES PROPUESTOS DEL DEPÓSITO DE DESMONTE



Sección 1 Talud Propuesto Condición Normal.

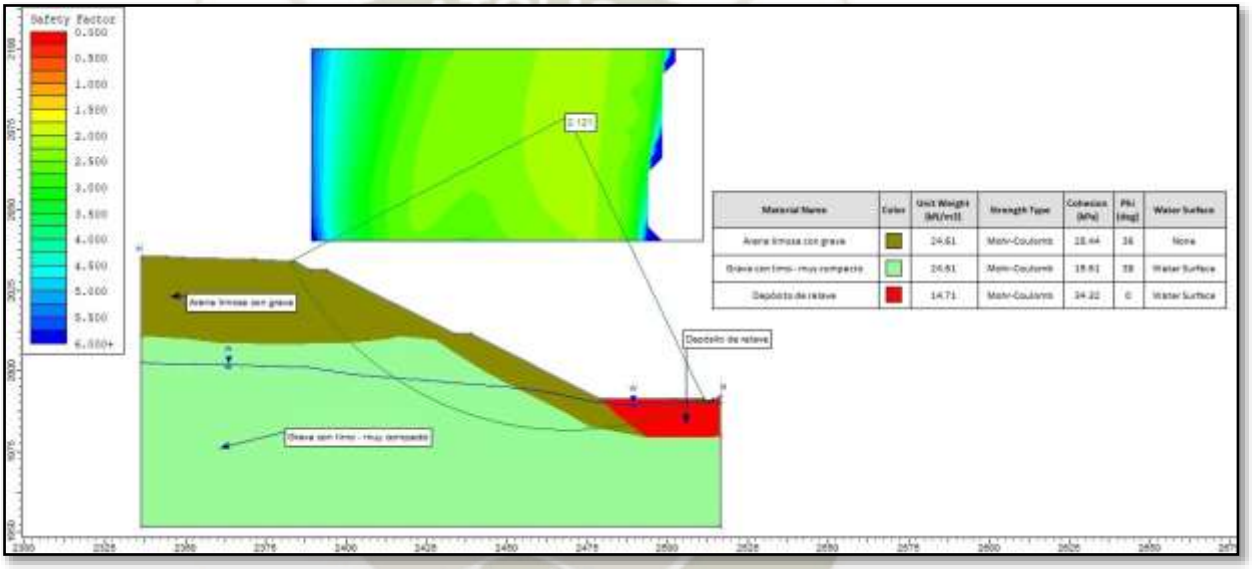
Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis



Sección 1 Talud Propuesto Condición Pseudo-estática.

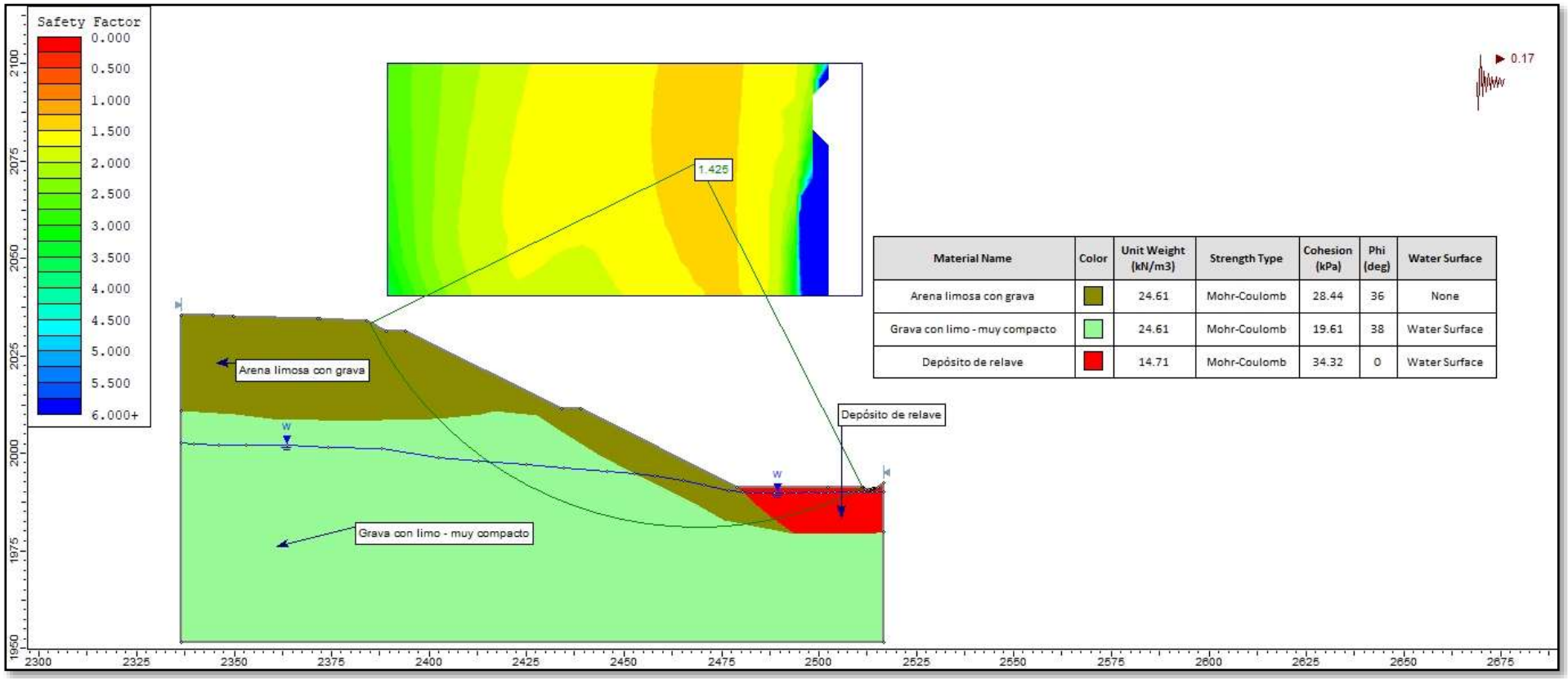
REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA



Sección 2 Talud Propuesto Condición Normal.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

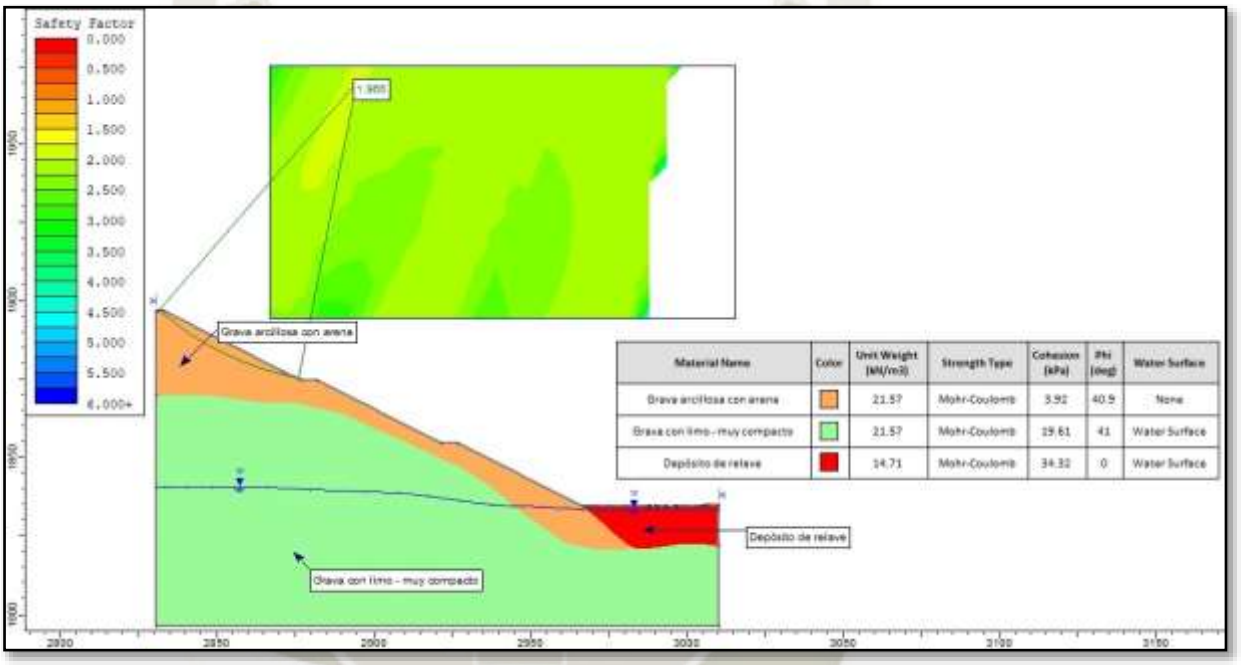


Material Name	Color	Unit Weight (kN/m3)	Strength Type	Cohesion (kPa)	Phi (deg)	Water Surface
Arena limosa con grava		24.61	Mohr-Coulomb	28.44	36	None
Grava con limo - muy compacto		24.61	Mohr-Coulomb	19.61	38	Water Surface
Depósito de relave		14.71	Mohr-Coulomb	34.32	0	Water Surface

Sección 2 Talud Propuesto Condición Pseudo-estática.

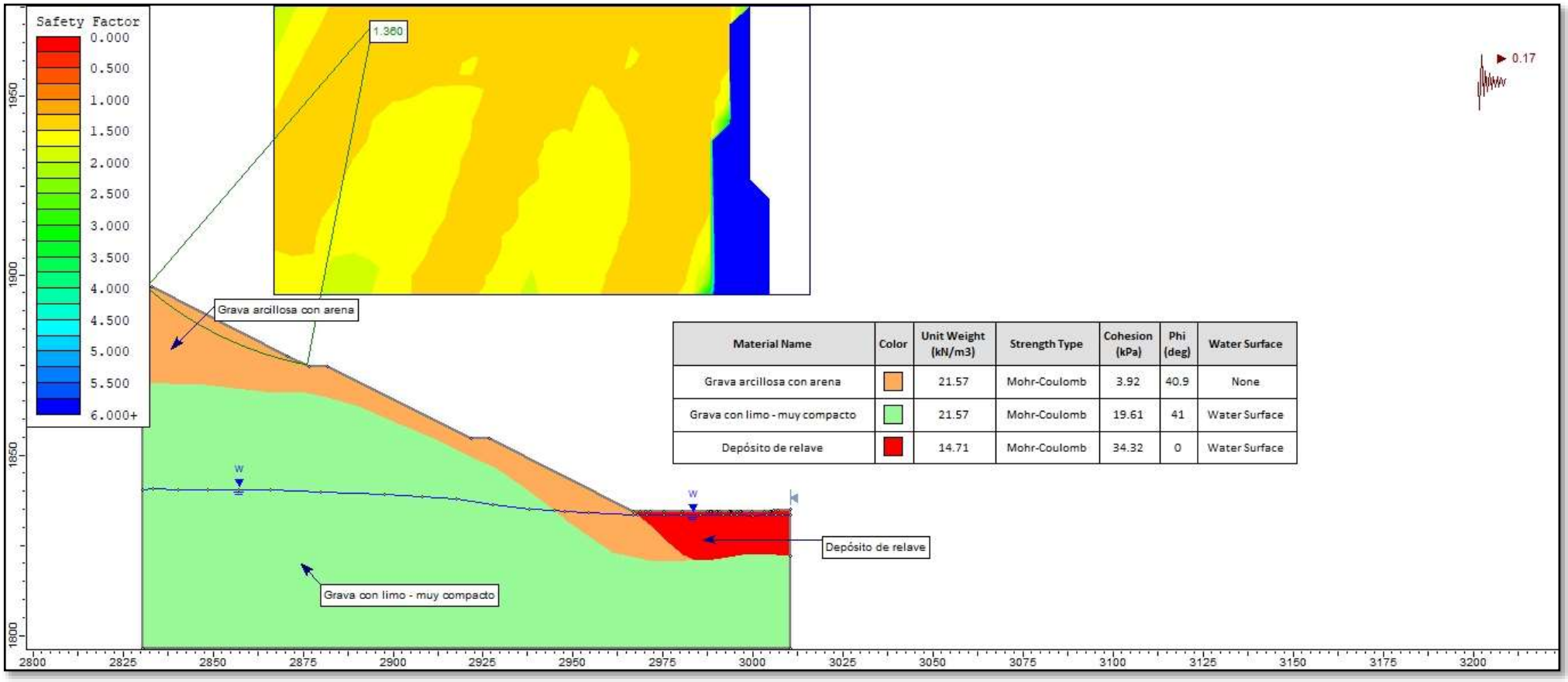
REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA



Sección 3 Talud Propuesto Condición Normal.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

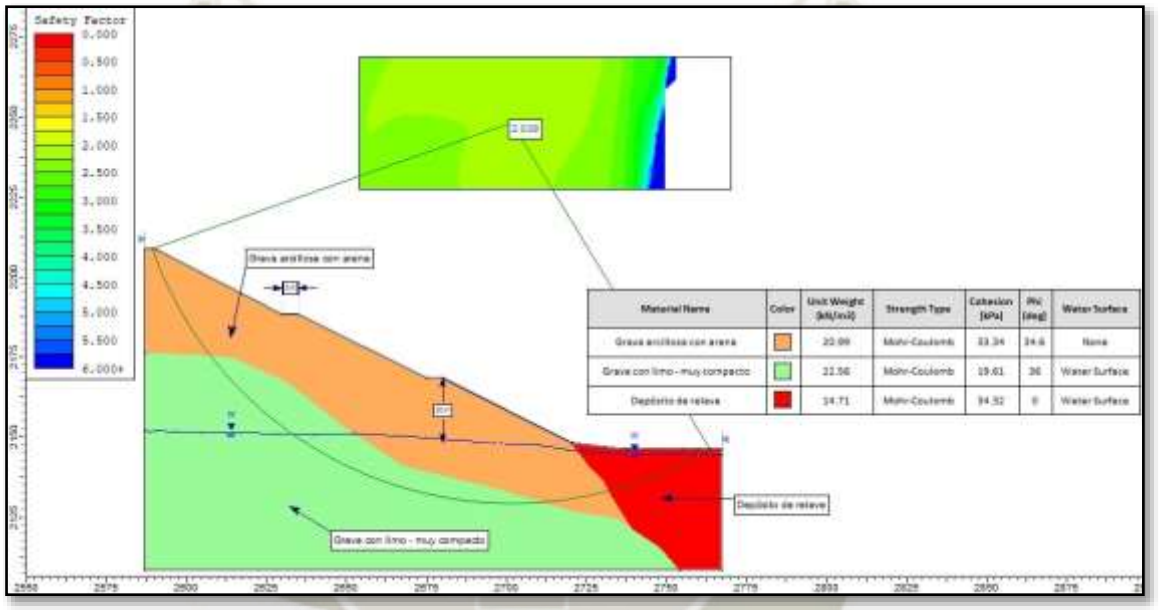


Material Name	Color	Unit Weight (kN/m3)	Strength Type	Cohesion (kPa)	Phi (deg)	Water Surface
Grava arcillosa con arena		21.57	Mohr-Coulomb	3.92	40.9	None
Grava con limo - muy compacto		21.57	Mohr-Coulomb	19.61	41	Water Surface
Depósito de relave		14.71	Mohr-Coulomb	34.32	0	Water Surface

Sección 3 Talud Propuesto Condición Pseudo-estática.

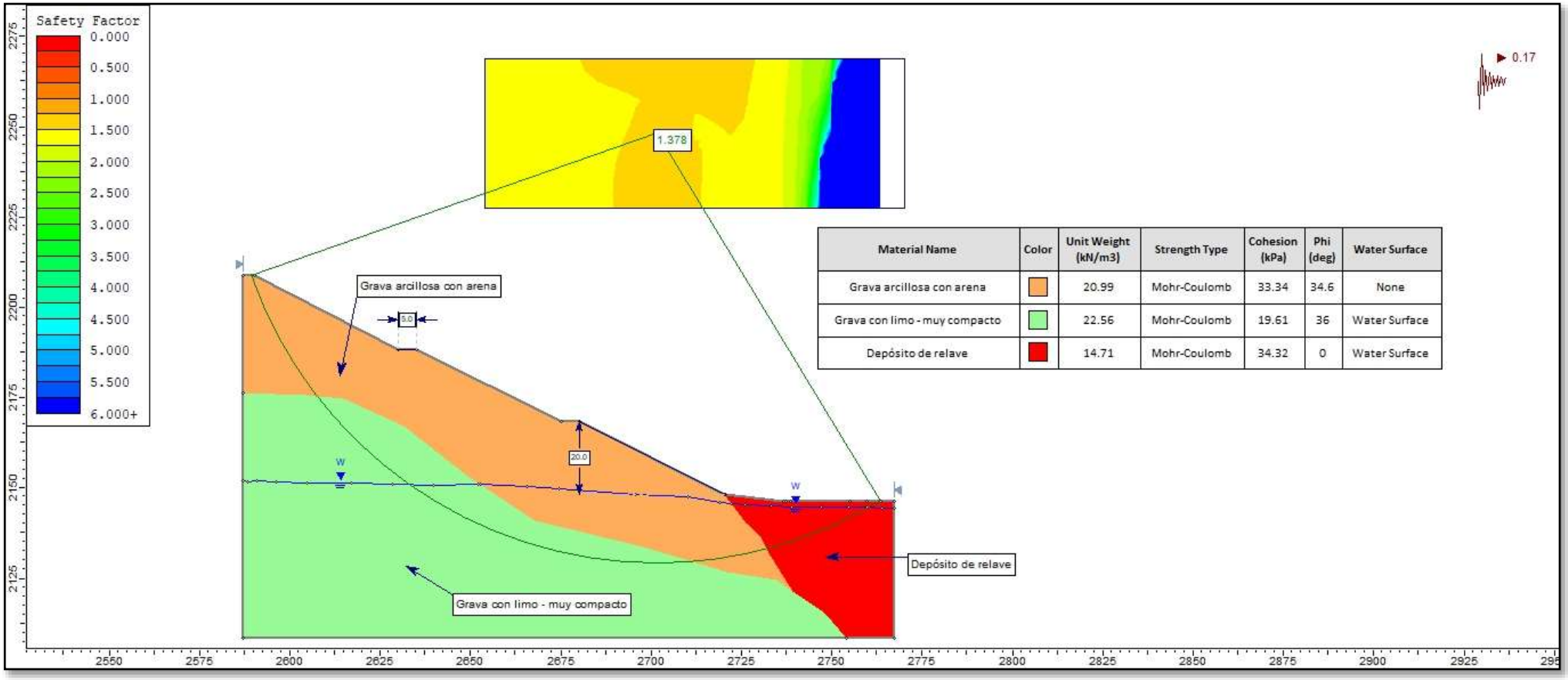
REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA



Sección 4 Talud Propuesto Condición Normal.

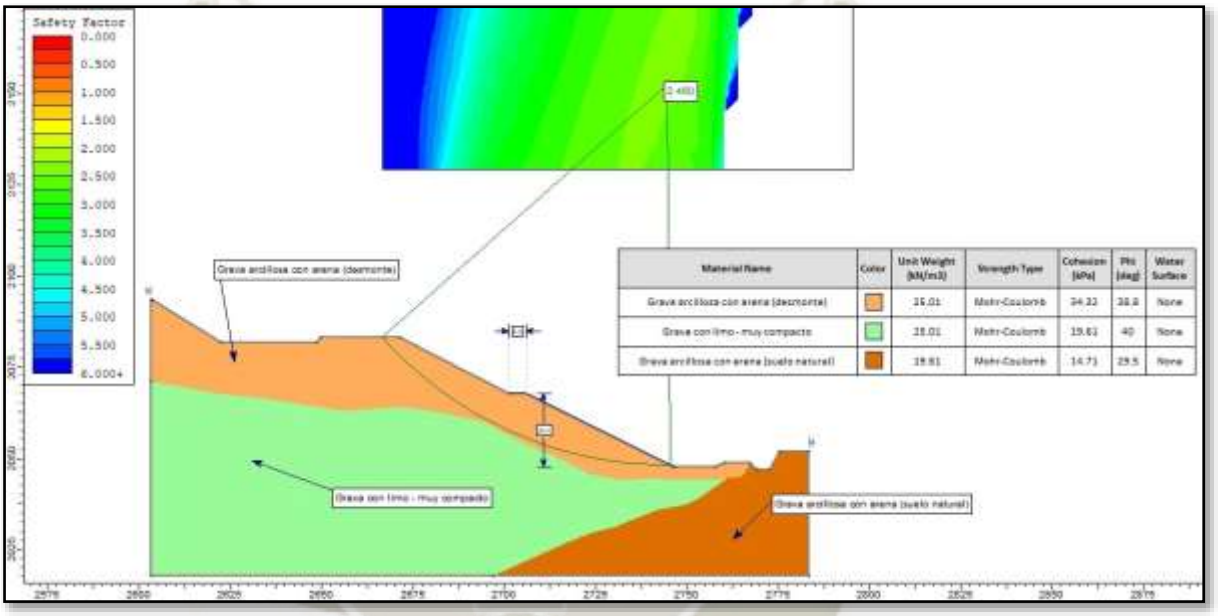
Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis



Sección 4 Talud Propuesto Condición Pseudo-estática.

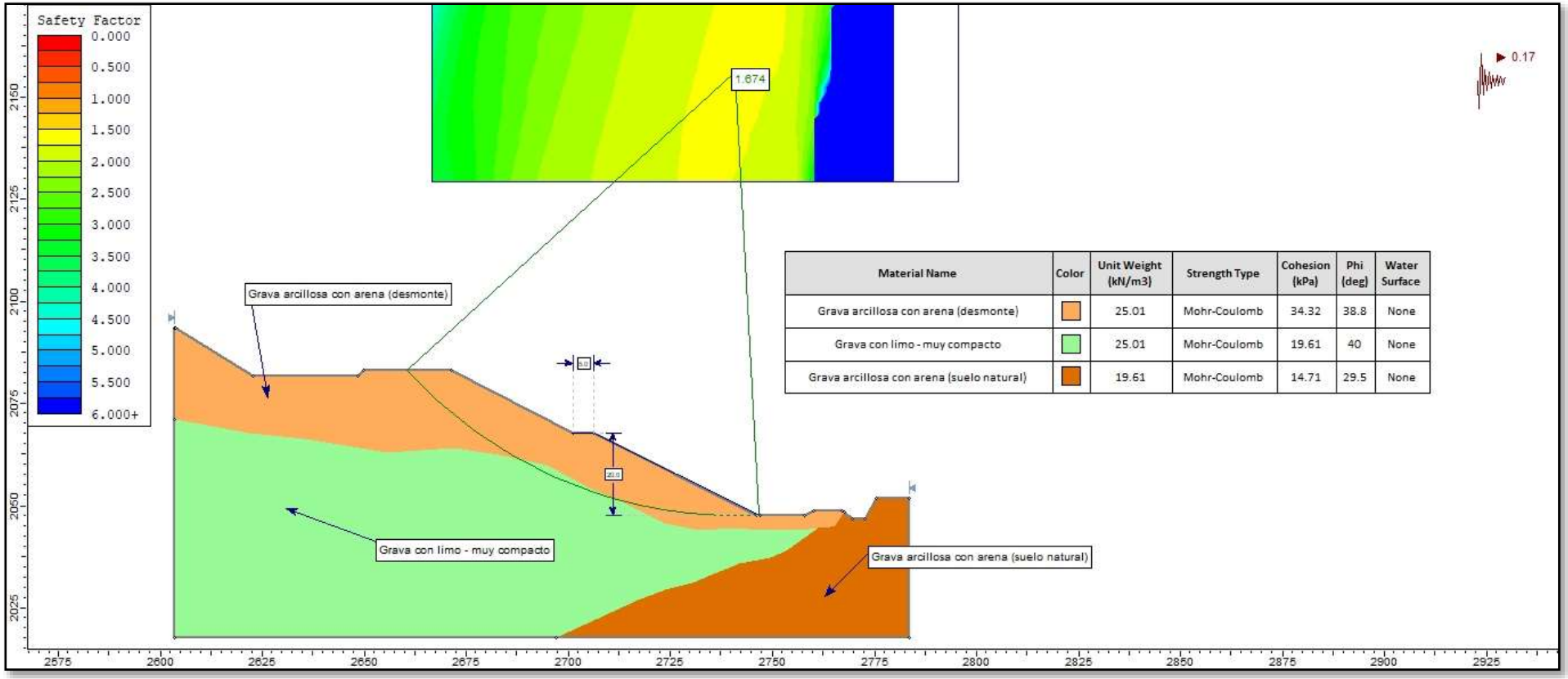
REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA



Sección 5 Talud Propuesto Condición Normal.

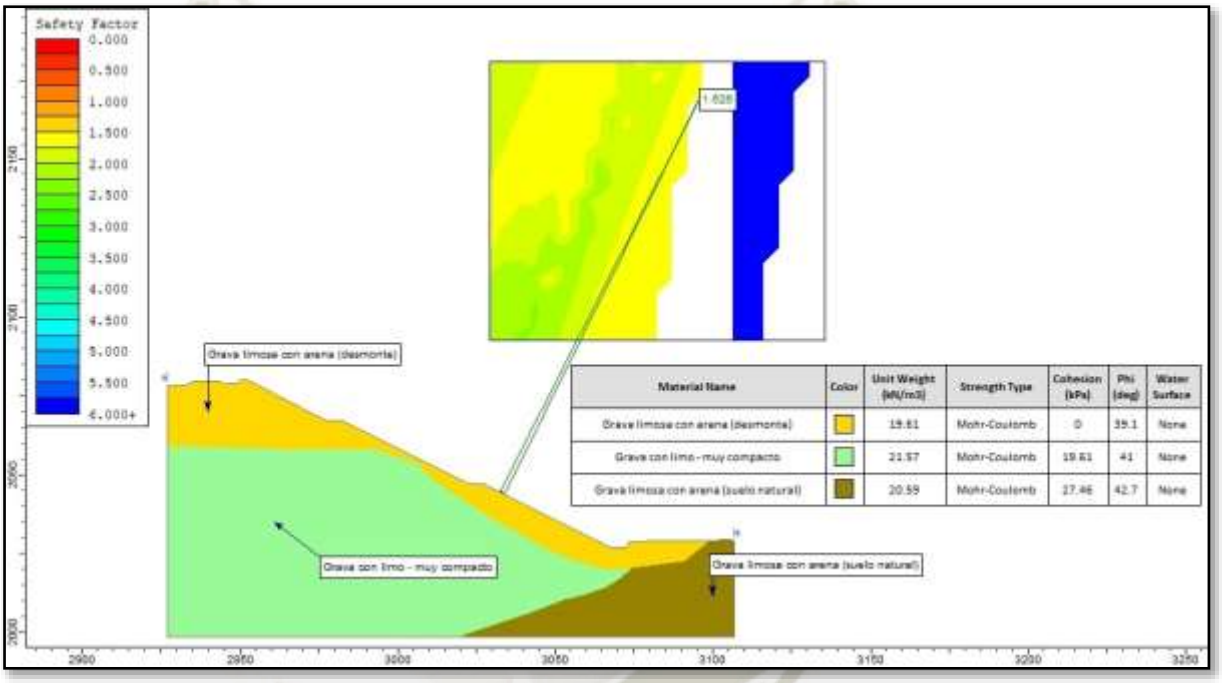
Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis



Sección 5 Talud Propuesto Condición Pseudo-estática.

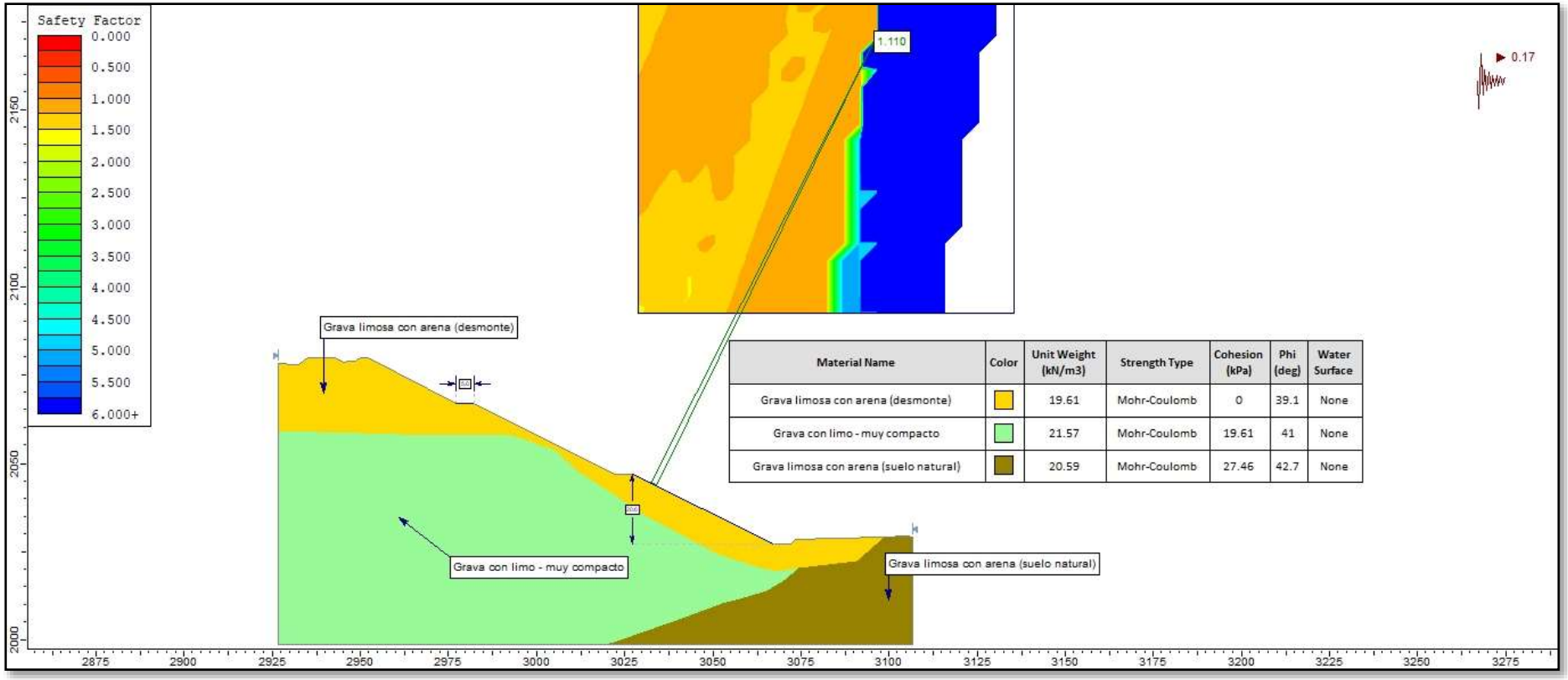
REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA



Sección 6 Talud Propuesto Condición Normal.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

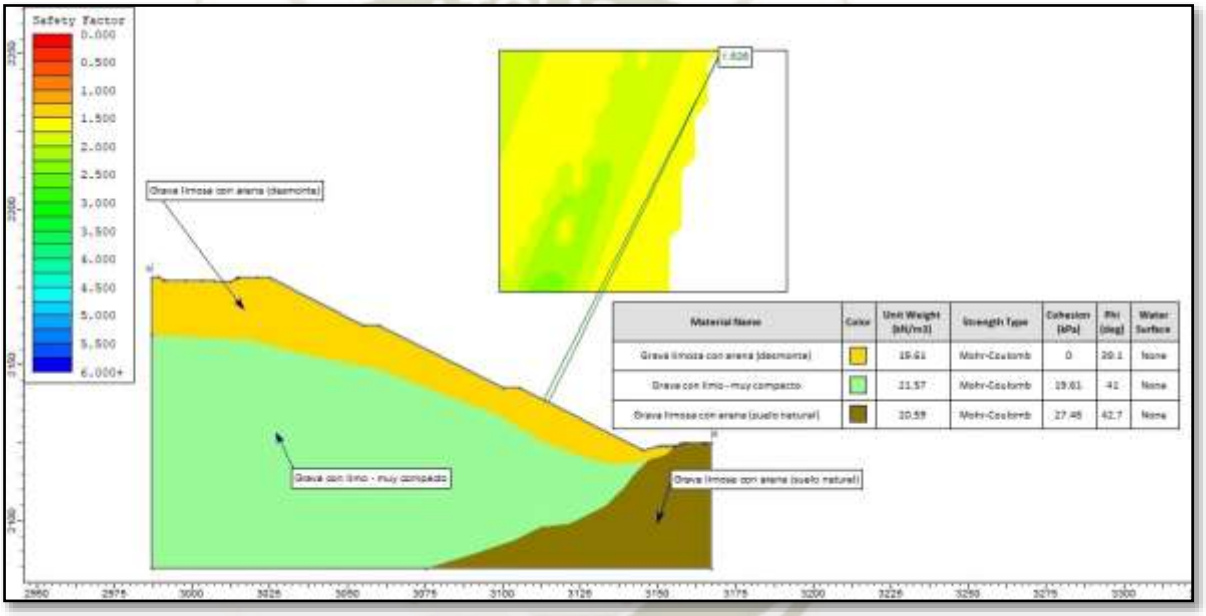


Material Name	Color	Unit Weight (kN/m3)	Strength Type	Cohesion (kPa)	Phi (deg)	Water Surface
Grava limosa con arena (desmonte)		19.61	Mohr-Coulomb	0	39.1	None
Grava con limo - muy compacto		21.57	Mohr-Coulomb	19.61	41	None
Grava limosa con arena (suelo natural)		20.59	Mohr-Coulomb	27.46	42.7	None

Sección 6 Talud Propuesto Condición Pseudo-estática.

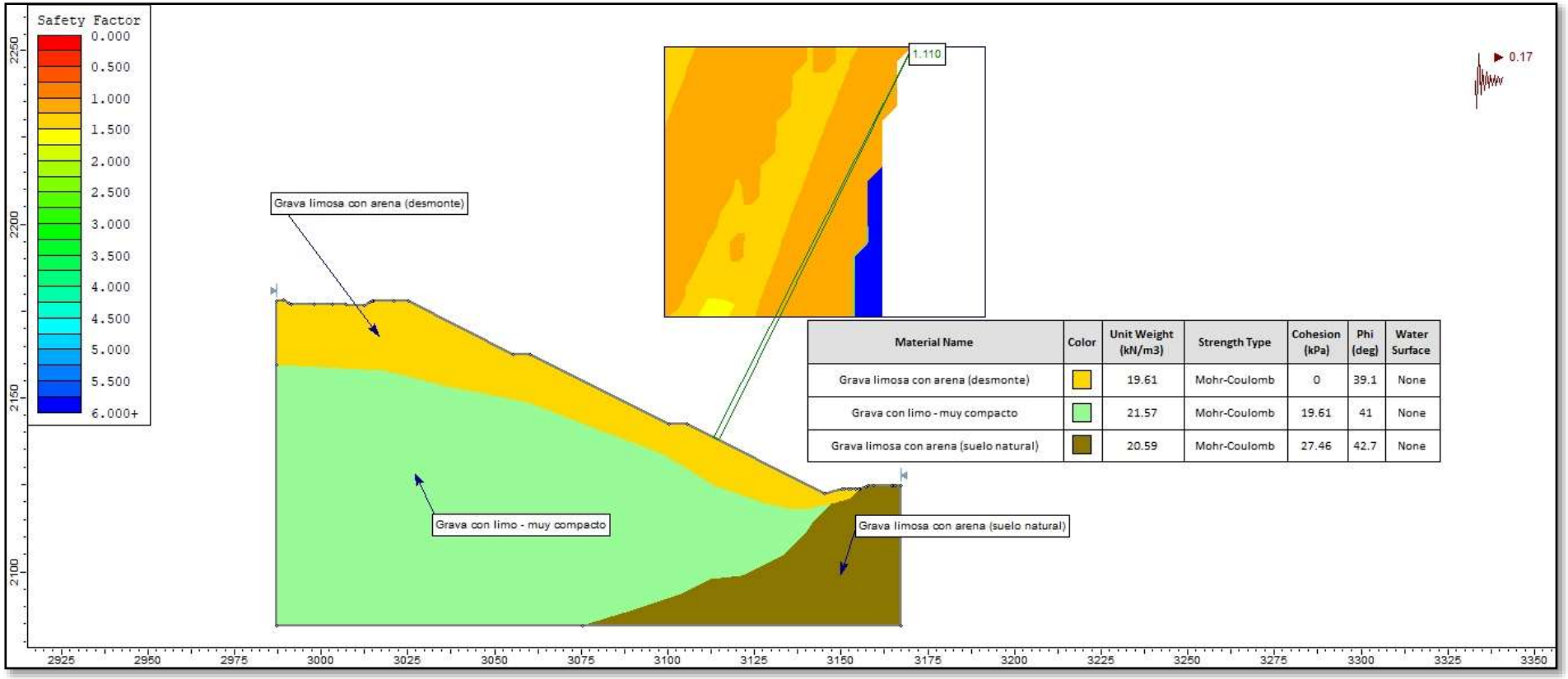
REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA



Sección 7 Talud Propuesto Condición Normal.

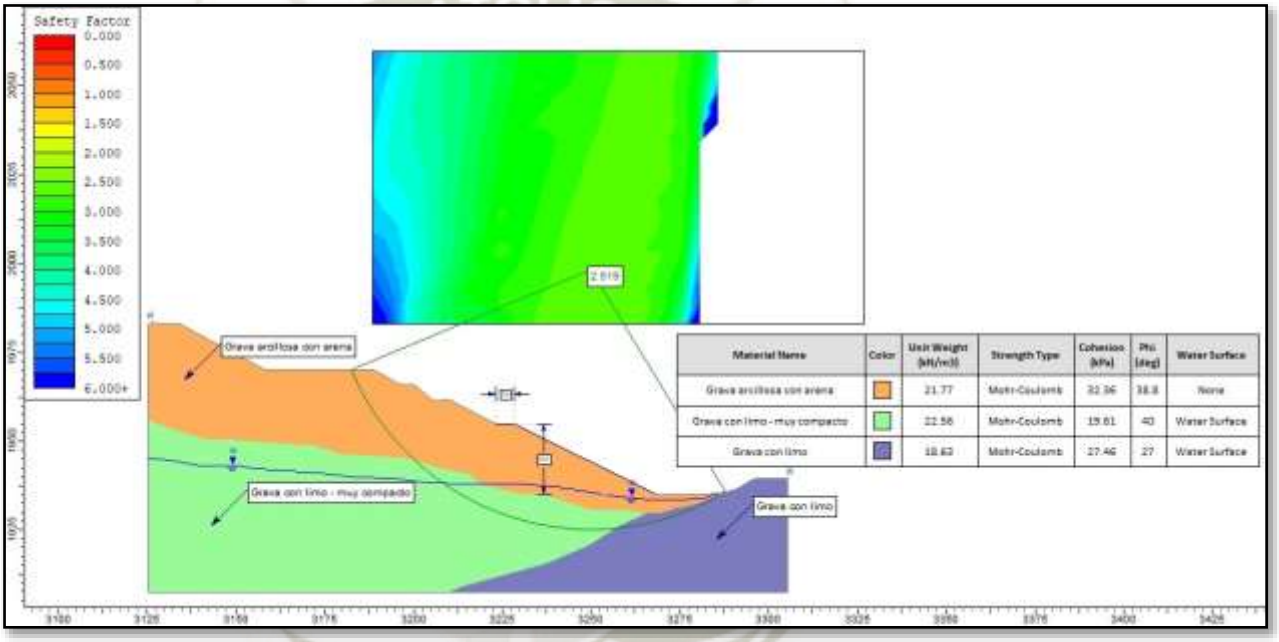
Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis



Sección 7 Talud Propuesto Condición Pseudo-estática.

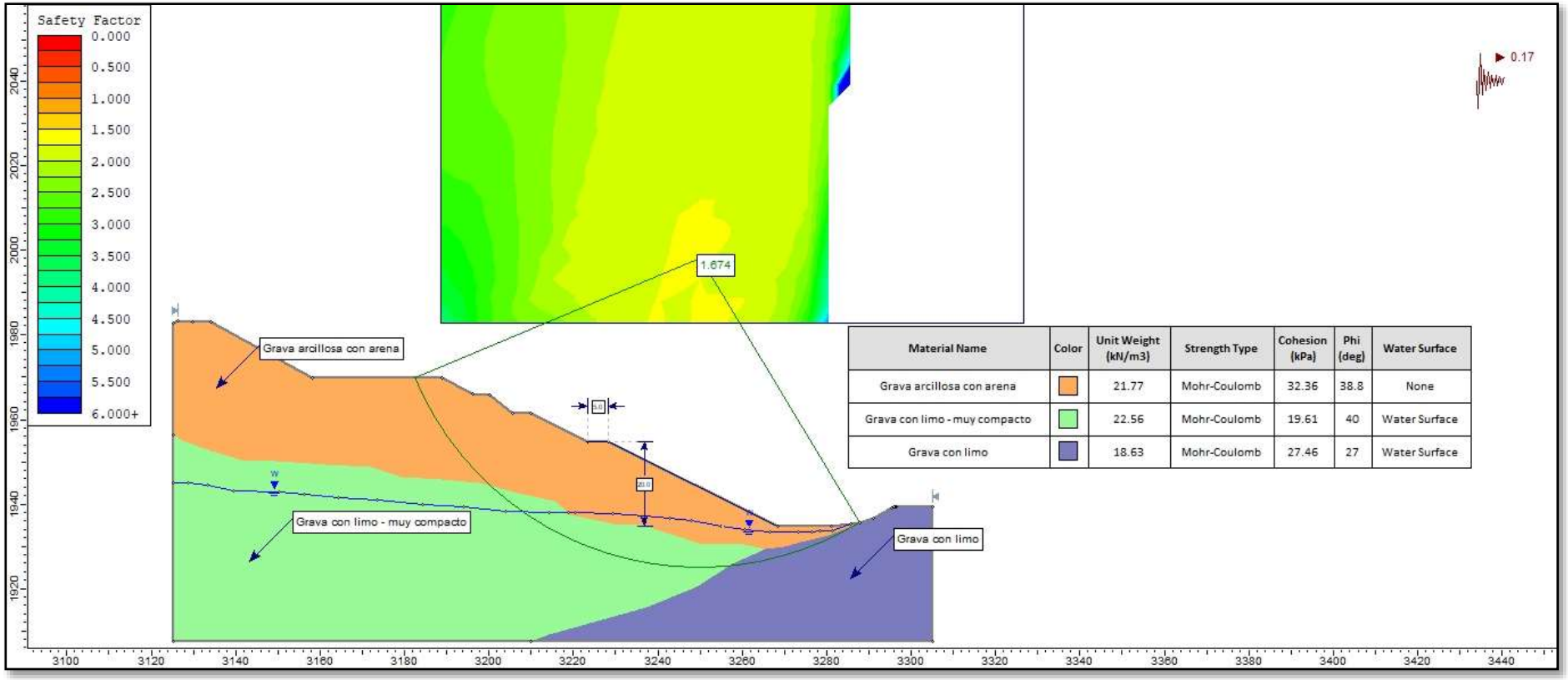
REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA



Sección 8 Talud Propuesto Condición Normal.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis



Sección 8 Talud PropuestoCondición Pseudo-estática.