

Universidad Nacional de Ingeniería

Facultad de Ingeniería Civil



TESIS

Propuesta de diseño geotécnico de un depósito de material excedente basado en la metodología de Hawley - Cuning

Para obtener el título profesional de Ingeniero Civil

Elaborado por

Bach. Jefferson Jamil Coronado Neyra

 [0009-0002-3848-2378](https://orcid.org/0009-0002-3848-2378)

Asesor

Mag. Ing. Marck Steewar Regalado Espinoza

 [0000-0002-6752-0196](https://orcid.org/0000-0002-6752-0196)

LIMA – PERÚ

2025

Citar/How to cite	Coronado Neyra [1]
Referencia/Reference	[1] J. Coronado Neyra, “ <i>Propuesta de diseño geotécnico de un depósito de material excedente basado en la metodología de Hawley – Cunning</i> ” [Tesis de pregrado]. Lima (Perú): Universidad Nacional de Ingeniería, 2025.
Estilo/Style: IEEE (2020)	

Citar/How to cite	(Coronado, 2025)
Referencia/Reference	Coronado, J. (2025). <i>Propuesta de diseño geotécnico de un depósito de material excedente basado en la metodología de Hawley – Cunning</i> . [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de Ingeniería]. Repositorio institucional Cybertesis UNI.
Estilo/Style: APA (7ma ed.)	

Dedicatoria

A mi madre Beatriz, por siempre motivarme a cumplir todas mis metas.

Agradecimientos

Agradezco en primer lugar a Dios por darme la vida, la salud y la fortaleza para superar cada desafío, guiando mis pasos hasta culminar esta etapa de mi formación profesional. A mi madre, Beatriz, por su amor incondicional y por brindarme la oportunidad de estudiar en Lima, siendo siempre un ejemplo de esfuerzo y disciplina. Extiendo mi gratitud a mi padre, Augusto, y a mis hermanos María, César, Luis, Junior, Betty y Nilson, por su constante apoyo, consejos y motivación que fortalecen mi determinación. Asimismo, agradezco a mi novia, Dora Moreno, por su comprensión, apoyo emocional y preocupación constante por mi bienestar.

De igual manera, expreso mi reconocimiento a mi alma máter, la Universidad Nacional de Ingeniería, por los conocimientos, experiencias y valores éticos transmitidos a lo largo de mi formación. Agradezco a mi mentor y amigo, William Segovia, por la información técnica brindada; así como a mis amigos, por sus consejos y apoyo en el desarrollo del presente trabajo; a mis revisores. Extiendo mi agradecimiento a mis revisores, Luis Hajar y César Atala, cuyas observaciones enriquecieron significativamente esta investigación; y, finalmente, a mi asesor, Marck Regalado, cuya orientación y revisiones fueron fundamentales para la culminación de este trabajo.

Resumen

En la construcción de proyectos viales, tanto en el Perú como en el mundo, se requieren áreas auxiliares como los depósitos de material excedente (DME). Aunque no generan utilidad directa, son indispensables porque permiten almacenar el material excedente. Sin embargo, en el país no existe un criterio de diseño unificado, pues en cada proyecto se aplican metodologías distintas. Por ello, esta investigación propone el diseño geotécnico de un DME mediante la metodología de Hawley - Cuning, tomando como caso de estudio el DME 15 de la carretera Oyón - Ambo.

Se inició con la aplicación de la metodología de Hawley - Cuning empezando con la caracterización del sitio a partir de los estudios básicos, seguido de la caracterización geotécnica de los materiales en base a las investigaciones de campo, ensayos de laboratorio y geología local. Posteriormente, se plantearon tres alternativas de diseño geotécnico, definiendo superficie topográfica, sección de análisis, nivel freático, taludes locales y dimensiones de banquetas. Con estas alternativas se realizaron análisis de estabilidad estáticos, pseudoestáticos y de deformaciones simplificadas.

Los resultados mostraron que la alternativa 2 con taludes locales de 2.5 H: 1 V, banquetas de 3 m de ancho y 10 m de altura y altura máxima de 38 m, cumple con los factores de seguridad y deformaciones permitidas. Por tanto, se concluye que la alternativa 2 constituye una propuesta de diseño geotécnico aceptable para el DME 15 aplicando la metodología de Hawley - Cuning.

Palabras clave – Depósito de material excedente, estabilidad, diseño, Hawley - Cuning

Abstract

In the construction of road projects, both in Peru and around the world, auxiliary areas such as surplus material depot (SMD) are required. Although they do not generate direct profit, they are essential because they allow for the storage of surplus material. However, there is no unified design criterion in the country, as different methodologies are applied in each project. Therefore, this research proposes the geotechnical design of a SMD using the Hawley - Cunning methodology, using SMD 15 of the Oyón - Ambo Highway as a case study.

The application of the Hawley - Cunning methodology began with site characterization based on basic studies, followed by the geotechnical characterization of the materials based on field investigations, laboratory tests, and local geology. Three geotechnical design alternatives were subsequently proposed, defining the topographic surface, analysis section, water table, local slopes, and sidewalk dimensions. With these alternatives, static, pseudostatic and simplified deformation stability analyses were performed.

The results showed that Alternative 2, with local slopes of 2.5 H: 1 V, sidewalks 3 m wide and 10 m high, and a maximum height of 38 m, met the safety factors and allowable deformations. Therefore, it is concluded that Alternative 2 constitutes an acceptable geotechnical design proposal for SMD 15, applying the Hawley - Cunning methodology.

Keywords – Surplus material deposit, stability, design, Hawley - Cunning

Tabla de Contenido

Resumen	v
Abstract	vi
Capítulo I. Introducción	1
1.1 Generalidades	1
1.2 Descripción del problema de investigación	1
1.3 Antecedentes	2
1.4 Justificación	3
1.5 Limitaciones	3
1.6 Objetivos	4
1.6.1 Objetivo general	4
1.6.2 Objetivos específicos	4
1.7 Hipótesis	4
1.8 Tipo de investigación	4
1.9 Población y muestra	6
Capítulo II. Marco teórico y conceptual	7
2.1 Talud	7
2.2 Depósito de material excedente	7
2.2.1 Definición	7
2.2.2 Material excedente	7
2.2.3 Características principales	8
2.3 Depósito de desmonte de mina	9
2.4 Caracterización geotécnica	9
2.5 Estabilidad de taludes	9
2.5.1 Factor de seguridad	10
2.5.2 Método de equilibrio límite	11
2.5.3 Método de dovelas	11

2.5.4	Método de Spencer	11
2.5.5	Software de análisis de estabilidad.....	11
Capítulo III. Consideraciones para el diseño de un DME		12
3.1	Ubicación	12
3.2	Diseño.....	14
3.3	Aspectos ambientales	16
3.4	Construcción y operación	16
3.4.1	Desbosque y conformación	17
3.4.2	Control de erosión y drenaje.....	18
3.5	Cierre	19
Capítulo IV. Metodología de Hawley - Cuning.....		20
4.1	Diseño de un DDM	20
4.2	Diseño geotécnico de un DME	43
4.2.1	Caracterización del sitio	47
4.2.2	Caracterización geotécnica de materiales	48
4.2.3	Planteamiento de diseño geotécnico	48
4.2.4	Análisis de estabilidad	48
4.2.5	Verificación del planteamiento de diseño.....	52
4.2.6	Clasificación de estabilidad y clase de peligro del diseño	53
4.2.7	Propuesta de diseño geotécnico	53
Capítulo V. Propuesta de diseño geotécnico de un DME basado en la metodología de Hawley – Cuning		54
5.1	Caso de estudio	54
5.2	Caracterización del sitio	55
5.2.1	Ubicación	55
5.2.2	Entorno	56
5.2.3	Topografía.....	57
5.2.4	Hidrología.....	59

5.2.5	Sismicidad.....	60
5.2.6	Geología.....	61
5.2.7	Geotecnia.....	71
5.3	Caracterización geotécnica de materiales	73
5.3.1	Material antrópico	74
5.3.2	Topsoil	74
5.3.3	Bofedal con agua permanente.....	74
5.3.4	Bofedal temporal	75
5.3.5	Suelo Fluvioglacial	75
5.3.6	Suelo Aluvial	75
5.3.7	Suelo Residual	76
5.3.8	Suelo Coluvial	77
5.3.9	Roca Andesita.....	77
5.3.10	Desmonte.....	78
5.3.11	Resumen de parámetros geotécnicos	82
5.4	Planteamiento de diseño geotécnico	82
5.4.1	Superficie topográfica.....	82
5.4.2	Sección de análisis.....	83
5.4.3	Nivel freático	84
5.4.4	Planteamiento de taludes locales	85
5.4.5	Planteamiento de altura de banquetas	90
5.4.6	Planteamiento de ancho de banquetas	91
5.4.7	Planteamiento de diseño geotécnico de un DME	92
5.5	Análisis de estabilidad	93
5.5.1	Determinación de criterios geotécnicos	94
5.5.2	Análisis de estabilidad estático	114
5.5.3	Análisis de estabilidad pseudoestático	120
5.5.4	Análisis de deformaciones simplificado	121

5.6	Verificación del planteamiento	129
5.7	Clasificación de estabilidad y clase de peligro	130
5.8	Propuesta de diseño geotécnico de un DME	133
5.8.1	Propuesta de diseño geotécnico	133
5.8.2	Capacidad de almacenamiento	134
5.8.3	Procedimiento constructivo.....	134
5.8.4	Planos de ingeniería.....	135
Capítulo VI. Propuesta de guía técnica peruana para el diseño de un DME		136
6.1	Disposiciones generales.....	136
6.2	Selección de ubicación.....	140
6.3	Diseño	142
6.4	Gestión de riesgos	161
6.5	Construcción y operación	162
6.6	Monitoreo	164
6.7	Mantenimiento.....	165
6.8	Gestión ambiental y social.....	165
6.9	Disposiciones finales	165
Conclusiones		167
Recomendaciones		169
Referencias bibliográficas		170
Anexos		175

Lista de Tablas

	Pág.
Tabla 1: Estructura general del sistema de 22 factores para la clasificación de estabilidad y clase de peligro de los depósitos de desmonte de mina.....	28
Tabla 2: Factores de ubicación regional y clasificación.....	29
Tabla 3: Factores de condiciones de fundación y clasificación.....	29
Tabla 4: Factores de calidad de los materiales y clasificación.....	33
Tabla 5: Factores de geometría y masa y clasificación.....	36
Tabla 6: Factores de análisis de estabilidad y clasificación.....	36
Tabla 7: Factores de construcción y clasificación.....	37
Tabla 8: Clasificación de rendimiento.....	38
Tabla 9: Resumen de la clasificación de estabilidad de un DDM.....	39
Tabla 10: Definición de la clasificación de estabilidad de un DDM, clase de peligro y peligro de inestabilidad relativa.....	40
Tabla 11: Nivel sugerido de esfuerzo basado en la clasificación de estabilidad de un DDM, clase de peligro y peligro de inestabilidad relativa.....	40
Tabla 12: Plantilla para propuesta de diseño geotécnico para el DME 15.....	53
Tabla 13: Depósitos de material excedente proyectados para el tramo II de la carretera Oyon Ambo.....	55
Tabla 14: Características generales del DME 15.....	56
Tabla 15: Coordenadas UTM WGS 84, zona 18 sur de los límites aprobados del DME 15.....	56
Tabla 16: Coordenadas de la poligonal aprobada del DME 15.....	58
Tabla 17: Valores probables de precipitación máxima de 24 h.....	60
Tabla 18: Intensidades máximas a partir de la P _{máx} de 24 h.....	60

Tabla 19: Aceleraciones máximas horizontales para suelos Tipo B, C y D empleando el método probabilístico.....	60
Tabla 20: Aceleraciones horizontales máximas para suelo Tipo B y D empleando el método determinístico.....	61
Tabla 21: Clasificación geomecánica del macizo rocoso.....	68
Tabla 22: Resumen de las discontinuidades.....	69
Tabla 23: Investigaciones geotécnicas de campo ejecutadas en el área del DME 15.....	71
Tabla 24: Ensayos de laboratorio en muestras de suelos de la fundación del DME 15.....	71
Tabla 25: Investigaciones geotécnicas de campo ejecutadas en el material de desmonte.....	71
Tabla 26: Ensayos de laboratorio ejecutadas en muestras de desmonte.....	72
Tabla 27: Método de excavación según el material excavado de la carretera Oyon Ambo.....	79
Tabla 28: Equipo de carguío según el material excavado de la carretera Oyon Ambo.....	80
Tabla 29: Parámetros geotécnicos del desmonte.....	81
Tabla 30: Resumen de parámetros geotécnicos del DME 15.....	82
Tabla 31: Diseño geotécnico de Cesel - Sigt para el DME 15.....	86
Tabla 32: Criterios sísmicos del diseño geotécnico de Cesel - Sigt para el DME 15.....	87
Tabla 33: Criterios de estabilidad física del diseño geotécnico de Cesel - Sigt para el DME 15.....	87
Tabla 34: Resumen de parámetros geotécnicos del diseño geotécnico de Cesel - Sigt para el DME 15.....	87
Tabla 35: Resultados del análisis de estabilidad del diseño geotécnico de Cesel - Sigt del DME 15.....	89

Tabla 36: Factores que afectan a la altura de la banqueta.....	90
Tabla 37: Altura típica de banqueta de acuerdo con el tipo de material.....	90
Tabla 38: Altura máxima práctica por nivel por tipo de equipo.....	91
Tabla 39: Factores que afectan a la altura de la banqueta.....	92
Tabla 40: Planteamiento de alternativas de diseño geotécnico para el DME 15.....	93
Tabla 41: Perfil de velocidades de ondas de corte en la fundación del DME 15.....	95
Tabla 42: Clasificación sísmica del sitio según el International Building Code.....	95
Tabla 43: Criterio sísmicos para el DME 15.....	100
Tabla 44: Evaluación del nivel de confianza de la estructura.....	102
Tabla 45: Evaluación del nivel de consecuencia de la estructura.....	103
Tabla 46: Puntaje por clasificación.....	104
Tabla 47: Pesos de ponderación por criterio del nivel de confianza.....	104
Tabla 48: Pesos de ponderación por criterio del nivel de consecuencia.....	105
Tabla 49: Clasificación según puntajes ponderados.....	105
Tabla 50: Clasificación del nivel de confianza del DME 15.....	106
Tabla 51: Clasificación del nivel de consecuencia del DME 15.....	107
Tabla 52: Factores de seguridad mínimos requeridos para el DME 15 según la metodología de Hawley - Cuning.....	108
Tabla 53: Factores de seguridad mínimos taludes aguas abajo según el MEM y que fueron modificados de COE.....	108
Tabla 54: Factores de seguridad mínimos requeridos para el DME 15 según la guía ambiental peruana del MEM.....	109

Tabla 55: Sismo de diseño con base en la clasificación de la presa según la guía de la CDA.....	110
Tabla 56: Factores de seguridad mínimos para la evaluación estática de la estabilidad de taludes según la CDA.....	110
Tabla 57: Factores de seguridad mínimos para la evaluación sísmica de la estabilidad de taludes según la CDA.....	111
Tabla 58: Factores de seguridad mínimos requeridos para el DME 15 según la guía CDA.....	111
Tabla 59: Criterios de estabilidad física para las alternativas de planteamiento de diseño geotécnico para el DME 15.....	112
Tabla 60: Criterios de diseño geotécnico para las alternativas como planteamiento de diseño geotécnico para el DME 15.....	113
Tabla 61: Resumen de la caracterización geotécnica del DME 15.....	117
Tabla 62: Resultados del análisis de estabilidad estático de las alternativas de planteamiento de diseño geotécnico para el DME 15.....	118
Tabla 63: Resultados del análisis de estabilidad pseudoestático de las alternativas de planteamiento de diseño geotécnico para el DME 15.....	121
Tabla 64: Coeficiente de fluencia para el DME 15.....	124
Tabla 65: Cálculo de Vs promedio de la masa deslizante.....	125
Tabla 66: Cálculo de periodo fundamental del bloque deslizante.....	125
Tabla 67: Parámetros de entrada para el análisis de deformaciones simplificado.....	127
Tabla 68: Deformaciones estimados para la alternativa 2.....	128
Tabla 69: Deformación obtenida de la alternativa 2 como planteamiento de diseño geotécnico para el DME 15.....	128
Tabla 70: Resultados del análisis de estabilidad y deformaciones de las alternativas planteadas como diseño geotécnico para el DME 15.....	129

Tabla 71: Verificación de los criterios de aceptabilidad de las alternativas planteadas como diseño geotécnico para el DME 15, según la metodología de Hawley - Cuning.....	130
Tabla 72: Clasificación de los 22 factores de la propuesta de diseño geotécnico para el DME 15.....	131
Tabla 73: Clasificación de los grupos de la propuesta de diseño geotécnico para el DME 15.....	132
Tabla 74: Índices, clasificación de estabilidad y clase de peligro de la propuesta de diseño geotécnico para el DME 15.....	132
Tabla 75: Nivel de esfuerzo requerido para el DME 15.....	133
Tabla 76: Propuesta de diseño geotécnico para el DME 15 de la carretera Oyon Ambo.....	133
Tabla 77: Volumen de almacenamiento de la propuesta diseño geotécnico para el DME 15.....	134
Tabla 78: Lista de planos de la propuesta de diseño geotécnico para el DME 15.....	135
Tabla 79: Planteamiento de diseño geotécnico de un DME.....	150
Tabla 80: Criterios geotécnicos de un DME.....	151
Tabla 81: Formato de metrados.....	159

Lista de Figuras

	Pág.
Figura 1: Proceso de la investigación.....	5
Figura 2: DME km. 07 + 100 carretera Huinchos a Andahuaylas.....	7
Figura 3: DDM Este de la mina Antamina en Perú.....	9
Figura 4: Procedimiento general para proponer el diseño de un depósito de desmonte de mina.....	22
Figura 5: Proceso general de diseño integral de un DDM: desde el diseño conceptual hasta el cierre.....	23
Figura 6: Aplicación de la metodología de Hawley - Cuning para proponer el diseño geotécnico del DME 15.....	44
Figura 7: Planteamiento general para la caracterización de sitio del DME 15.....	44
Figura 8: Planteamiento general para la caracterización geotécnica del DME 15.....	45
Figura 9: Planteamiento general para el planteamiento del diseño geotécnico del DME 15.....	45
Figura 10: Planteamiento general para el análisis de estabilidad del DME 15.....	46
Figura 11: Planteamiento general para la verificación del planteamiento de diseño geotécnico del DME 15.....	46
Figura 12: Planteamiento general para la clasificación de estabilidad y clase de peligro del diseño geotécnico del DME 15.....	47
Figura 13: Diagrama de flujo del análisis de estabilidad.....	49
Figura 14: Vista panorámica del área proyectada para el DME 15.....	57
Figura 15: Área del levantamiento topográfico del DME 15.....	59
Figura 16: Geología regional de la carretera Oyon Ambo.....	62
Figura 17: Geología local de la carretera Oyon Ambo.....	63
Figura 18: Sector del DME 15 debajo de la carretera en roca volcánica meteorizada.....	65

Figura 19: Vista de roca andesita en proceso de alteración por intemperismo.....	65
Figura 20: Roca andesita muy alterada con presencia de óxidos por descomposición de minerales máficos y feldespatos.....	66
Figura 21: Vista de talud de deslizamiento reciente en zona del depósito.....	69
Figura 22: Vista en planta de las unidades geotécnica del área del DME 15.....	70
Figura 23: Vista en planta de las investigaciones geotécnicas ejecutadas en el DME 15.....	72
Figura 24: Sección geotécnica A-A de la fundación del DME 15.....	73
Figura 25: Sección geotécnica B-B de la fundación del DME 15.....	73
Figura 26: Curvas de nivel cada 1 m del levantamiento topográfico del DME 15.....	83
Figura 27: Sección crítica para el análisis del DME 15.....	84
Figura 28: Vista en planta del diseño geotécnico de Cesel - Sigt para el DME 15.....	85
Figura 29: Sección típica del diseño geotécnico de Cesel - Sigt para el DME 15.....	86
Figura 30: Análisis de estabilidad estático del diseño geotécnico de Cesel - Sigt del DME 15.....	88
Figura 31: Análisis de estabilidad pseudoestático del diseño geotécnico de Cesel - Sigt del DME 15.....	88
Figura 32: Alternativa 3, diseño geotécnico planteado para el DME 15 con talud local de 2.5 H: 1 V.....	93
Figura 33: Vista en planta de los ensayos geofísicos del DME 15.....	94
Figura 34: Formulaciones para determinar el coeficiente sísmico horizontal.....	98
Figura 35: Matriz de determinación de factores de seguridad según Hawley - Cuning.....	101

Figura 36: Modelo geotécnico de la alternativa 1 del planteamiento de diseño geotécnico para el DME 15, sección B-B.....	115
Figura 37: Modelo geotécnico de la alternativa 2 del planteamiento de diseño geotécnico para el DME 15, sección B-B.....	116
Figura 38: Modelo geotécnico de la alternativa 3 del planteamiento de diseño geotécnico para el DME 15, sección B-B.....	116
Figura 39: Análisis de estabilidad estático de la alternativa 1 de planteamiento de diseño geotécnico para el DME 15.....	118
Figura 40: Análisis de estabilidad estático de la alternativa 2 de planteamiento de diseño geotécnico para el DME 15.....	119
Figura 41: Análisis de estabilidad estático de la alternativa 3 de planteamiento de diseño geotécnico para el DME 15.....	119
Figura 42: Análisis de estabilidad pseudoestático de la alternativa 2 de planteamiento de diseño geotécnico para el DME 15.....	121
Figura 43: Determinación del coeficiente de fluencia.....	123
Figura 44: Superficies de falla.....	124
Figura 45: Espectros de respuesta empleados en el análisis de deformaciones simplificado.....	127
Figura 46: Modelo 3D del DME 15.....	135
Figura 47: Diagrama de flujo del análisis de estabilidad.....	150

Lista de Símbolos y Siglas

γ	:	Peso específico del material, expresado en kN/m ³ .
c'	:	Cohesión efectiva del material, es un parámetro de resistencia cortante, expresado en MPa, kPa o kg/cm ² .
ϕ'	:	Fricción efectiva del material, es un parámetro de resistencia cortante, expresado en Mpa, kPa o kg/cm ² .
k_h	:	Coefficiente sísmico, adimensional.
CDA	:	Asociación Canadiense de Presas (por sus siglas en ingles de Canadian Dam Association).
DME	:	Depósito de Material Excedente
FS	:	Factor de Seguridad
MTC	:	Ministerio de Transporte y Comunicaciones.
NF	:	Nivel Freático.
SUCS	:	Sistema Unificado de Clasificación de Suelos.
MEM	:	Ministerio de Energía y Minas hasta junio 2019.
MINEM	:	Ministerio de Energía y Minas, luego de junio 2019.
Sernageomin	:	Servicio Nacional de Geología y Minería del Ministerio de Minería de Chile.
EGI	:	Índice de Geología y Minería (por sus siglas en inglés de Engineering Geology Index)
DPI	:	Índice de Diseño y Rendimiento (por sus siglas en inglés de Design and Performance Index)
WSR	:	Clasificación de estabilidad de vertederos de desechos y pilas de acopio (por sus siglas en inglés de Waste Dump and Stockpile Rating)
WHC	:	Clase de peligro de vertederos de desechos y pilas de acopio (por sus siglas en inglés de Waste Dump and Stockpile Hazard Class)

Prologo

Tomando en cuenta la importancia de los depósitos de material excedente (DME) en los proyectos viales, es necesario diseñarlos bajo criterios suficientes de estabilidad geotécnica. En ese sentido, se propone aplicar la metodología Hawley & Cuning (2017) a un DME (6 pasos detallados: caracterización, del sitio, caracterización geotécnica, planteamiento del diseño geotécnico, análisis de estabilidad, verificación del planteamiento de diseño, y la clasificación de estabilidad y clase de peligro), tomando como caso de estudio el DME 15 de la carretera Oyon Ambo.

Se inicia explicando las consideraciones para la ubicación, el diseño, la construcción y el cierre del DME. El análisis se realiza previa obtención de características del sitio, caracterización de los materiales, levantamiento topográfico, nivel freático, ensayos de laboratorio, entre otros. Se proponen 3 diseños con taludes locales (1.5 H: 1 V, 2.5 H: 1 V, y 2.0 H: 1 V), generando su sección y detalles geométricos. Con ello, se realizan análisis de estabilidad estáticos, pseudoestáticos y de deformaciones. Finalmente, se concluye que la alternativa 2 es aceptable como diseño geotécnico del DME 15, dado que cumple los factores de seguridad y deformación máxima permitida. Se obtuvo un FS estático = $1.61 > 1.50$, un factor de seguridad pseudoestático = $1.00 < 1.05$. A partir de este último se tuvo que hacer un análisis de deformaciones simplificado cuyo resultado fue menor a la deformación máxima permitida.

Mag. Ing. Marck Steewar Regalado Espinoza

Asesor

Capítulo I. Introducción

1.1 Generalidades

En el mundo los proyectos de infraestructura vial son muy importantes dado que permiten la comunicación, transporte, comercio y desarrollo entre diferentes localidades.

Desde el punto de vista ingenieril, para la ejecución de este tipo de proyectos viales se requiere la selección y utilización de áreas auxiliares como canteras, plantas de asfalto, campamentos y depósitos de material excedente (en adelante, por sus siglas, DME).

Estos últimos, si bien no generan utilidad al proyecto vial, son de vital importancia ya que permiten almacenar el material excedente, anteriormente llamado desmonte, que no se reutilizará en el proyecto (Romero, 2019). Por ello, y de acuerdo con el *“Manual de Gestión Socio Ambiental para Proyectos Viales Departamentales”* del Ministerio de Transporte y Comunicaciones [MTC] (2005), se debe diseñar los DME de tal manera que se asegure su estabilidad.

1.2 Descripción del problema de investigación

De la misma forma, en el Perú, la infraestructura vial ha presentado un crecimiento significativo impulsado principalmente por inversión tanto pública como privada, dado que, influye positivamente de manera directa e indirecta en la economía, la comunicación, el transporte y el desarrollo de la población. Sin embargo, la ejecución de estos proyectos viales requiere la construcción de los denominados DME, dado que, permiten depositar los materiales excedentes generados por los cortes en el talud, restos de escombros, material de derrumbes y material del mantenimiento de los taludes que no se puede reutilizar en el proyecto. Siendo un alto gasto de recursos, puesto que pueden llegar a medir más de 40 m de altura, además de demandar sistemas de drenaje específicos y en algunos casos complejos por las condiciones climáticas de la sierra y selva del país (Gaviria & Suárez, 2019).

Si bien se tienen recomendaciones para el diseño de un DME del *“Reglamento de Protección Ambiental para el Sector Transportes”* del MTC

(2017), del *“Manual de Gestión Socio Ambiental para Proyectos Viales Departamentales”* del MTC (2005) y del *“Manual de Carreteras: Especificaciones Técnicas Generales para Construcción”* del MTC (2013); sin embargo, en cada proyecto vial se utilice una metodología de diseño distinta con criterios distintos. Por otro lado, en el sector minero, y específicamente en Chile, se emplea la metodología de Hawley & Cuning (2017) para proponer el diseño de los depósitos de desmonte de mina (en adelante, por sus siglas, DDM) (Servicio Nacional de Geología y Minerías [Sernageomin], 2023), que son estructuras de gran similitud geométrica con los DME. Por lo que, podría ser posible basarse en esta metodología de Hawley - Cuning para proponer el diseño geotécnico de un DME.

Con la problemática expuesta, se propone la siguiente pregunta:

¿Cómo proponer el diseño geotécnico para un depósito de material excedente basándose en la metodología de Hawley - Cuning?

1.3 Antecedentes

Según el MTC (2005) se debe asegurar la estabilidad de un DME, por ello, recomienda plantear un diseño geotécnico con taludes locales con inclinación no mayor a 1.5 H: 1 V. En base a lo anterior, Gaviria & Suárez (2019), propusieron para el DME 3 de la carretera Oyon Ambo, como una alternativa, un diseño geotécnico con taludes locales de 1.5 H: 1 V, una altura de banqueteta de 10 m y un ancho de banqueteta de 3 m. Concluyendo que el diseño geotécnico propuesto resultó físicamente estable dado que los factores de seguridad obtenidos eran mayores a los mínimos requeridos; sin embargo, recomiendan la creación de un manual peruano para crear una metodología para el diseño y construcción de los DME.

De manera análoga al MTC (2005), en minería, el Ministerio de Energía y Minas [MEM] (1997) exige asegurar la estabilidad física de los depósitos de desmonte de mina (DDM), estructuras geoméricamente similares a los DME, durante su etapa de diseño, operación hasta el cierre. Por ello, Vilca (2019) evaluó la estabilidad del diseño geotécnico de operación del depósito de desmonte Santa Rosa de la U. M. Santa Rosa, que consiste en taludes locales de 2 H: 1 V, altura de banqueteta de 10 m y ancho de banqueteta de 5 m, concluyendo que el diseño

geotécnico ejecutado es físicamente estable. En línea con lo anterior, Alvarez (2018) evaluó la estabilidad del diseño geotécnico propuesto para el cierre del depósito de desmonte 28 de la U. M. Tintaya, que consisten en taludes locales de 2 H: 1 V, una altura de banco de 15 m y un ancho de banqueta de 8 m, concluyendo que el diseño geotécnico propuesto para el cierre es físicamente estable dado que los factores de seguridad obtenidos eran mayores a los mínimos requeridos.

1.4 Justificación

En el Perú y en el mundo, la construcción de los proyectos viales requiere la utilización de áreas auxiliares como los DME que, si bien no generan utilidad al proyecto, su importancia es vital ya que permite almacenar el material excedente. Por ello, se tiene que diseñar los DME de tal manera que se asegure su estabilidad. Sin embargo, en el Perú para cada proyecto vial se utilice una metodología de diseño distinta con criterios distintos. Por ello, en esta investigación se presenta la propuesta de diseño geotécnico de un depósito de material excedente basándose en la metodología de Hawley & Cuning (2017).

Asimismo, se presenta una propuesta conceptual de *“Guía Técnica Peruana de Diseño de Depósitos de Material Excedente”* para que sea tomada como base para futuras investigaciones que permitan validar, ampliar y actualizar sus criterios mediante datos de campo y experiencias en distintos entornos del país, implementando proyectos piloto, recibiendo retroalimentación multisectorial y evaluando su integración en la normativa oficial del MTC, con el objetivo de que, a través de un proceso participativo y técnico, evolucione hasta convertirse en una norma publicada y de aplicación obligatoria en el Perú.

1.5 Limitaciones

La presente investigación utiliza la información del depósito de material excedente 15 (en adelante, DME 15) del tramo II de la carretera Oyon Ambo, ubicado en el distrito de Yanahuanca, departamento de Pasco, Perú. La información recopilada de campo abarca el periodo comprendido entre los meses de octubre y noviembre del 2019. Asimismo, se abarca netamente el diseño geotécnico del DME.

1.6 Objetivos

1.6.1 Objetivo general

Proponer el diseño geotécnico de un depósito de material excedente basándose en la metodología de Hawley - Cuning.

1.6.2 Objetivos específicos

- Describir los criterios de diseño de un depósito de material excedente.
- Describir la metodología Hawley - Cuning para proponer el diseño geotécnico de un depósito de material excedente.
- Proponer el diseño geotécnico de un depósito de material excedente basándose en la metodología de Hawley - Cuning.

1.7 Hipótesis

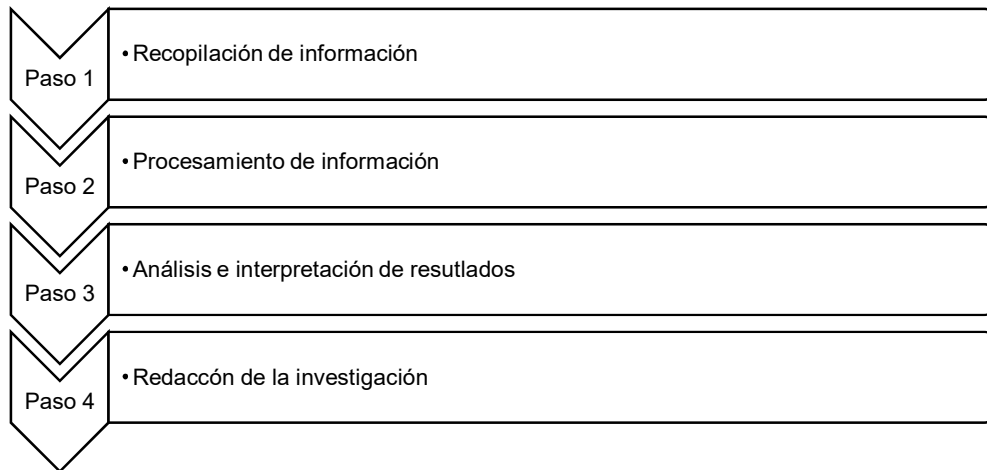
Es posible basarse en la metodología de Hawley - Cuning para proponer el diseño geotécnico de un depósito de material excedente.

1.8 Tipo de investigación

La investigación es aplicada y documental. Es aplicada por que se trabaja con conocimientos previos para resolver el problema planteado. Es documental por que se revisa, analiza e interpreta datos existentes para proponer un diseño de ingeniería. Asimismo, el proceso de la investigación se resume en la siguiente Figura 1.

Figura 1

Proceso de la investigación



Paso 1. Recopilación de información. Se recopila y organiza la información bibliográfica (tesis, informes técnicos, manuales del MTC, normas peruanas, guías internacionales, manuales de software, libros, artículos académicos y científicos, expedientes técnicos) y afines referidas a diseños de depósitos de material excedente (DME) y diseños de depósitos de desmonte de minas (DDM). Asimismo, se recopila los estudios básicos realizados en el caso de estudio, el DME 15 de la carretera Oyon Ambo.

Paso 2. Procesamiento de información. Se recopila y organiza la información, y luego se revisa y procesa. En este paso, se busca desarrollar los primeros dos objetivos específicos y parte del tercero de la presente investigación, referido al planteamiento de las alternativas como diseño geotécnico del DME 15.

Paso 3. Análisis e interpretación de resultados. A partir de las alternativas planteadas, se realiza el análisis de estabilidad y de deformaciones para definir qué alternativa cumple con los factores de seguridad mínimos y deformación máxima permitida, es decir, definir qué alternativa es una propuesta de diseño geotécnico aceptable para el DME 15. Finalmente, se realiza su clasificación de estabilidad y clasificación de peligro del diseño geotécnico propuesto. En este paso, se culmina el tercer objetivo específico de la investigación.

Paso 4. Redacción de la investigación. Finalmente, se emplea la estadística descriptiva para redactar la investigación y detallar las conclusiones y recomendaciones.

1.9 Población y muestra

La población en la investigación son los 16 DME proyectados para el tramo II de la carretera Oyon Ambo, que se encuentra ubicada en el centro del país y que conecta los departamentos de Lima, Pasco y Huánuco. Asimismo, se utilizará un muestreo no probabilístico e intencional.

La muestra elegida será por conveniencia de la disponibilidad de la información y datos, es decir, contar con los estudios básicos del DME y contar con el expediente del estudio definitivo del DME, y de su importancia, es decir, potencial de almacenamiento, por tanto, en esta investigación se tomará de muestra el DME 15 ubicado en el Km 183+450, distrito de Yanahuanca, provincia de Daniel Alcides Carrión, departamento de Pasco, Perú.

Capítulo II. Marco teórico y conceptual

2.1 Talud

Un talud es la masa de suelo o roca que presenta una inclinación con respecto a la horizontal o cambios significativos de altura. Técnicamente, se define como ladera cuando su formación tuvo como origen un proceso natural y talud cuando se forma artificialmente producto de la intervención del hombre, por ejemplo, los terraplenes (Suárez, 1998).

2.2 Depósito de material excedente

2.2.1 Definición

Los botaderos de carretera actualmente conocidos como depósitos de material excedente (DME, por sus siglas), son áreas destinadas a almacenar el material excedente del proyecto, típicamente no controlado (Gaviria & Suarez, 2019). Véase la siguiente Figura 2.

Figura 2

DME km. 07 + 100 carretera Huinchos a Andahuaylas



Nota. Obtenido del programa Google Earth.

2.2.2 Material excedente

Es todo aquel material cuyo origen proviene de las actividades de excavación, corte, nivelación, demolición, limpieza y que no se puede reutilizar en otras actividades del proyecto (MTC, 2005). A continuación, se tienen los siguientes tipos comunes de material excedente:

- Rellenos no aptos: Materiales que no cumplen con las especificaciones técnicas (parámetros de CBR requeridos o densidad, por ejemplo) para ser considerado como relleno, material de base, subbase. Estos suelen ser los suelos orgánicos, arcillas expansivas, limos saturados, materiales con presencia de óxidos, material argílico, materiales con alta presencia de finos o carentes de propiedades geotécnicas, entre otros cuyo tratamiento para reutilizar es más costoso que disponerlo en un depósito de material excedente, entonces se dispone como material excedente (MTC, 2013).
- Tierra vegetal: Se retira para una mejor fundación de la subrasante y puede almacenarse para revegetación, pero si no hay uso posterior, se considera como material excedente (MTC, 2013).
- Roca no aprovechable: Son rocas de gran tamaño (>1 m) con propiedades geológicas malas o cuyo tratamiento para reutilizar es más costoso que disponerlo en un depósito de material excedente, entonces se dispone como material excedente (MTC, 2013).
- Material de demolición: Material de demolición de asfalto, de concreto, cuyo tratamiento para reutilizar es más costoso que disponerlo en un depósito de material excedente, entonces se dispone como material excedente (MTC, 2013).

2.2.3 Características principales

Con la finalidad de evitar conflictos con comunidades locales, impactos visuales y pérdidas de hábitats, sedimentación de cuerpos de agua, deslizamiento o erosión, los DME tienen las siguientes características principales:

- Ubicación controlada: Se elige de acuerdo con criterios técnicos, ambientales y sociales para evitar impactos negativos (MTC, 2005).
- Diseño técnico: Se diseñan con pendiente, drenaje, estabilidad de taludes y medidas de control de erosión (MTC, 2013).
- Autorización ambiental: Su implementación está regulada por el Reglamento de Protección Ambiental para el sector transportes del MTC (2017).

2.3 Depósito de desmonte de mina

Los depósitos de desmonte de mina (DDM) están destinados al almacenamiento del material rocoso extraído durante las operaciones mineras, el cual no posee contenido económico suficiente para ser procesado.

Este material proviene principalmente de voladuras realizadas en tajos abiertos o labores subterráneas, y puede incluir también material de fundación no competente retirado durante el acondicionamiento de zonas donde se emplazarán otras estructuras mineras, como depósitos de relaves o pilas de lixiviación (Reyes, 2015). Véase la siguiente Figura 3.

Figura 3

DDM Este de la mina Antamina en Perú



Nota. Extraído de (Hawley & Cuning, 2017).

2.4 Caracterización geotécnica

Consiste en la identificación de las propiedades físicas y de resistencia de las unidades geotécnicas de la fundación del área de estudio y el material excedente, en base al análisis e interpretación de la información proveniente de la geología local, investigaciones geotécnicas de campo y ensayos de laboratorio (Gaviria & Suarez, 2019).

2.5 Estabilidad de taludes

Según Muñoz (2017), la estabilidad de un talud se define como la resistencia de una masa de suelo (fuerzas estabilizantes) contra alguna falla o movimiento (fuerzas desestabilizadoras). En ingeniería, para estudiar la estabilidad de un talud se requiere determinar su factor de seguridad (FS),

obtenido de un análisis matemático de estabilidad, y con ello proponer soluciones de estabilización en caso se requiera.

2.5.1 Factor de seguridad

De acuerdo con Gaviria & Suárez (2019), el factor de seguridad se refiere al coeficiente que se encuentra entre la sumatoria de fuerzas resistentes al corte y la sumatoria de fuerzas favorables al corte. Además, el factor de seguridad nos permite evaluar la estabilidad de una estructura para determinada condición de análisis. Se asume que la resistencia real debe ser superior para poder afirmar que la estructura evaluada es estable. Asimismo, en base a la práctica ingenieril y normativas, se establecen los valores mínimos necesarios dependiendo del tipo de estructura que se esté evaluando.

2.5.1.1 Factor de seguridad estático.

De acuerdo con Gaviria & Suárez (2019), es el factor de seguridad donde se toman en cuenta las fuerzas actuantes y resistentes bajo circunstancias normales o estáticas, es decir, sin el impacto de fuerzas que provocan el desplazamiento del suelo, como la acción sísmica. Este factor de seguridad se presupone que es constante en todos los puntos a lo largo de la superficie de falla, por lo que este valor simboliza un promedio del valor total en toda la superficie de falla.

2.5.1.2 Factor de seguridad pseudo estático.

De acuerdo con Gaviria y Suárez (2019), es el factor donde se toman en cuenta la acción sísmica, que en la mayoría de las situaciones incrementa las fuerzas que provocan la inestabilidad del talud. Los suelos que se encuentren bajo carga cíclica pueden experimentar altas presiones intersticiales, lo que se percibe como un incremento porcentual de las presiones de poros, lo que provoca una reducción de la resistencia del suelo.

2.5.1.3 Factor de seguridad post sismo.

Es el factor en el cual se considera los parámetros geotécnicos de resistencia residual de los materiales susceptibles al fenómeno de licuación.

2.5.2 Método de equilibrio límite

De acuerdo con Gaviria & Suárez (2019), se tienen diferentes metodologías para el análisis de las ecuaciones de estabilidad en taludes, se tiene el método por elementos finitos y el más empleado el método de equilibrio límite (LEM, por sus siglas en inglés). Este enfoque se fundamenta en el análisis de equilibrio de un cuerpo rígido, compuesto por el talud y la superficie de falla o deslizamiento, que podrá ser de cualquier forma (circular o no circular). Basándose en la ecuación de equilibrio, se llevan a cabo los cálculos de las fuerzas favorables al corte y se contrastan con la resistencia al corte del suelo. Estos parámetros se determinan de acuerdo con el criterio de falla postulado por Coulomb.

2.5.3 Método de dovelas

Se trata de segmentar la masa a analizar en una serie de tajadas, dovelas o bloques, tomando en cuenta el equilibrio de cada dovela de manera individual. Después de efectuar el análisis de estabilidad de cada dovela, se examinan las condiciones de equilibrio de la sumatoria de fuerzas o momentos (Asocars & Universidad del Valle, 2014).

2.5.4 Método de Spencer

El método de Spencer (1967) es un método de equilibrio límite que garantiza completamente el equilibrio de momentos y de fuerzas. El procedimiento se fundamenta en la premisa de que las fuerzas entre dovelas son paralelas entre sí, es decir, poseen el mismo ángulo de inclinación. La dirección exacta de estas fuerzas entre partículas es incierta y se determina como una de las incógnitas en la solución de las ecuaciones de equilibrio (Pinado, 2021).

2.5.5 Software de análisis de estabilidad

Existen diversos softwares para realizar el análisis de estabilidad de estructuras geotécnicas como Slide, Slope/W, Geo5, Plaxis, Flac, Midas GTS NX, entre otros. En la presente investigación se usará el software geotécnico Slide en su versión 6.009. Según Rocscience (2020), este es un software de análisis de estabilidad de taludes en 2D que utiliza el método del equilibrio límite para determinar el factor de seguridad de la superficie de falla analizada.

Capítulo III. Consideraciones para el diseño de un DME

En este capítulo, se describe las consideraciones de ubicación, diseño, construcción y cierre para un depósito de material excedente (DME) en base a los manuales y reglamentos peruanos como el “*Reglamento de Protección Ambiental para el Sector Transportes*”, aprobado por Decreto Supremo N° 004-2017-MTC, del MTC (2017), el “*Manual de Gestión Socio Ambiental para Proyectos Viales Departamentales*”, aprobado en la Resolución Directoral N° 068-2005-MTC, de la Dirección General de Asuntos Ambientales del MTC (2005) y el “*Manual de Carreteras: Especificaciones Técnicas Generales para Construcción*”, aprobado en la Resolución Directoral N° 22-2013-MTC/14, del MTC (2013); asimismo, se consideró las recomendaciones de Romero (2019).

3.1 Ubicación

Según lo dispuesto en la sección 5.4.2 del Manual de Gestión Socio Ambiental para Proyectos Viales Departamental del MTC (2005), la ubicación de los DME debe considerar lo siguiente:

- El sitio o espacio destinado a la disposición debe ser escogido meticulosamente, evitando áreas inestables o de relevancia ambiental como humedales, zonas sensibles o de elevada productividad agrícola, o que albergue vestigios arqueológicos. De igual forma, evitando áreas que puedan obstaculizar los drenajes naturales (MTC, 2005).
- Es necesario tener en cuenta la forma del terreno, intentando inicialmente usar depresiones o zonas desiguales, donde la formación de material sobrante a depositar podría recuperar las particularidades del paisaje. Para estos objetivos, se deberá llevar a cabo el levantamiento topográfico del lugar determinado para diseñar el diseño apropiado. Cada uno de los vértices del depósito seleccionado se identificará georeferencialmente (MTC, 2005).
- Deberían situarse en terrenos pobres, siempre que sea posible, con una cobertura vegetal reducida o inexistente. Si es posible, evitando áreas inestables o zonas de gran relevancia ambiental (MTC, 2005).
- Emplear solo sitios no idóneos para actividades de agricultura o pastoreo (MTC, 2005).
- Las ubicaciones sugeridas (volumen de depósito, zonas a tratar, procedimientos de construcción y estrategias de control de erosión

sugeridas por la empresa contratista) serán examinadas y aprobadas por la supervisión (MTC, 2005).

Según la sección 209 del Manual de Carreteras: Especificaciones Técnicas Generales para Construcción del MTC (2013), para la ubicación del DME también se debe considerar lo siguiente:

- Es necesario contar con las autorizaciones pertinentes si el área indicada es de propiedad privada, zona de reserva, o territorios especiales establecidos por la legislación (MTC, 2013).
- No se deben ubicar los materiales sobrantes en el lecho de los ríos ni en cuerpos de agua, ni a una distancia inferior a 30 metros a cada lado de las riberas de estos. Es imprescindible prevenir la contaminación de cualquier origen y flujo de agua por los materiales sobrantes (MTC, 2013).
- Deberán mantenerse lo suficientemente distanciados de los cuerpos de agua, de forma que, en caso de que se produzcan crecientes, no se exceda el nivel más bajo de los materiales ubicados en él (MTC, 2013).
- El sitio seleccionado no debe dañar las condiciones ambientales o paisajísticas de la región, ni donde la población vecina pueda estar expuesta a cualquier tipo de peligro sanitario o ambiental (MTC, 2013).

Para Romero (2019), se deben tomar en cuenta también los siguientes criterios para la ubicación de un DME:

- Se debe determinar que la zona que se ha identificada para uso como DME no se encuentre dentro de zonas tales como patrimonios culturales o que contengan restos arqueológicos. Si esto sucede, se debe proceder de acuerdo con la normatividad vigente y verificar la viabilidad correspondiente (Romero, 2019).
- Es necesario respetar y garantizar la no afectación de infraestructura petrolera, hidráulica, telecomunicaciones, etc. con la ejecución y disposición de material en los depósitos (Romero, 2019).
- Se restringe la existencia de DME's en zonas de bosques de protección, parques naturales, entre otros (Romero, 2019).
- En todo momento, se respeten los derechos de propietarios/pobladores de la zona cercana a las áreas designadas como DME, para evitar afectaciones a propiedades de terceros o en su defecto, se lleguen a

acuerdos con los propietarios para mitigar las posibles modificaciones que se puedan causar. Generalmente, se llegan a acuerdos de cesión/alquiler de terrenos para disponer material excedente en dichas áreas (Romero, 2019).

3.2 Diseño

Según el MTC (2005), debe considerar lo siguiente:

- La gestión del drenaje es crucial en el DME para prevenir su eventual erosión, por lo que, en caso de ser necesario, se instalarán filtros de drenaje para facilitar el flujo del agua (MTC, 2005).
- Cuando se rellenan determinadas depresiones, generalmente se requiere diseñar el relleno en forma de terrazas y ubicar un muro de pata en gavión, especialmente en áreas donde, debido al nivel de precipitaciones, el material puede saturarse con facilidad. Si por algún motivo se detienen las actividades de colocación de materiales, es necesario resguardar las áreas sin relleno en el menor tiempo posible (MTC, 2005).
- En el proceso de relleno, se extraerá la capa orgánica del terreno, la cual se guardará para su uso futuro en las tareas de revegetación. Para el mantenimiento de la capa del suelo, es necesario considerar las particularidades del ecosistema, ya que, en zonas con altas precipitaciones, el material acumulado puede ser removido con facilidad (MTC, 2005).
- Las zonas diseñadas para almacenar excedentes deberán ser rellenadas con estratos horizontales que no superen la altura del terreno natural. Es necesario garantizar un drenaje apropiado y se evitará la erosión de los suelos que se acumulan allí (MTC, 2005).
- La disposición del material excedente debe llevarse a cabo en estratos de alrededor de 0.50 m de espesor, cada uno compactado con diez (10) pasadas de rodillo, con el objetivo de reducir los vacíos y compactar, alcanzando al menos un Índice de compactación del 60% (MTC, 2005).
- Tras la aplicación del material común, la compactación se realizará con al menos 2 pasadas de tractor de orugas, sobre las capas de espesor especificadas en el proyecto y distribuidas de forma homogénea. Si se dispone de una combinación de material rocoso y material común, se

compactará al menos con 4 pasadas de tractor de orugas, siguiendo el procedimiento previamente mencionado (MTC, 2005).

- Es necesario ubicar el material rocoso desde el interior hacia el exterior de la superficie para facilitar que el material se desprenda y se pueda realizar una elección de tamaños. Los fragmentos más grandes deben ubicarse en el lado exterior, de manera que funcione como una protección final del talud, mientras que los materiales más finos se encuentren en el interior del sitio de disposición de materiales sobrantes. Previo a la compactación, es necesario ampliar la capa de material depositado, eliminando las rocas cuyo tamaño no permita el proceso habitual de compactación, que se llevará a cabo con al menos 4 pasadas de tractor (MTC, 2005).
- Se deben revestir los materiales de gran grosor con suelos de tamaño reducido. Las inclinaciones de los taludes laterales no deberán exceder el 1.5:1 (H-V) y deberán ser revestidas con suelos orgánicos, pastizales u otra vegetación natural del área (MTC, 2005).
- Es necesario que los terraplenes sean estables o estabilizados, y que estén resguardados para prevenir procesos de deslizamiento y erosión. El acondicionamiento en zonas propensas a la erosión debe llevarse a cabo con el uso de pastizales, en taludes a través de la revegetación y la utilización de mantas biodegradables (MTC, 2005).
- Después de depositar el material excedente, y tras realizar la compactación necesaria capa por capa, se procederá a ubicar la capa de materia orgánica (Top soil). Esto permitirá que se realice la revegetalización con las especies vegetales autóctonas correspondientes, ya sean arbóreas, arbustivas o herbáceas, o en caso de ser necesario, mezclas de estas (MTC, 2005).
- Es necesario instalar la señalización relacionada con el camino de acceso y en la localización del propio depósito. Al ser de carácter provisional, los caminos de acceso deben ser edificados con el mínimo movimiento de tierras posible y cubrir con una capa de material granular para simplificar el tránsito de los vehículos en la construcción (MTC, 2005).
- El Contratista tiene la obligación de reparar los daños ambientales que ocasione, asumiendo todos los costos pertinentes (MTC, 2005).

3.3 Aspectos ambientales

Según lo dispuesto en el artículo 65 del Reglamento de Protección Ambiental para el Sector Transportes del MTC (2017), se debe considerar lo siguiente:

- La selección de los sitios para los DME debe basarse en la morfología del terreno, priorizando el uso de depresiones naturales o áreas con topografía irregular. Se recomienda ubicar estos depósitos en suelos de baja calidad, con escasa o nula cobertura vegetal y, en la medida de lo posible, en terrenos sin un uso definido. Además, es fundamental evitar zonas con inestabilidad geotécnica o aquellas de alto valor ambiental (MTC, 2017).
- Se llevará a cabo un levantamiento topográfico en la zona destinada para los DME con el propósito de desarrollar un diseño adecuado. Además, como parte del estudio ambiental, se identificará la ubicación, extensión y delimitación de los depósitos propuestos (MTC, 2017).
- Se implementarán medidas adecuadas para prevenir desbordes y procesos erosivos, considerando las propiedades del terreno, la periodicidad de las precipitaciones y la influencia de los vientos (MTC, 2017).
- Antes de habilitar el área para el DME, se procederá a retirar la capa orgánica del suelo, la cual será almacenada y resguardada para su futura utilización en las actividades de revegetación (MTC, 2017).
- Las zonas destinadas a los DME deberán ser rellenadas en capas horizontales, sin superar la cota del terreno natural. Además, se garantizará un drenaje eficiente y se implementarán medidas para prevenir la erosión de los suelos acumulados (MTC, 2017).
- Los terraplenes deben ser estables o ser adecuadamente estabilizados y protegidos para prevenir deslizamientos y procesos erosivos, dando prioridad a la revegetación o al uso de mantas biodegradables (MTC, 2017).
- Los DME deben ajustarse a las características específicas establecidas en los manuales y/o guías aprobadas por la autoridad competente (MTC, 2017).

3.4 Construcción y operación

Según el MTC (2005), se debe considerar lo siguiente:

3.4.1 Desbosque y conformación

- Limpieza de la zona designada.
- Establecer barreras de resguardo en las fronteras del área con el topsoil y materiales residuales provenientes del desbroce y desforestación (MTC, 2005).
- Es necesario colocar la arcilla y el limo en el centro del depósito, y compactarlos progresivamente a través de múltiples pasadas de un tractor de orugas. Los materiales de corte que provienen de la construcción de vías de acceso al depósito deben ser ubicados de manera individual en las márgenes de la vía. Establecer barreras para la regulación de los sedimentos (MTC, 2005).
- Previo a iniciar cualquier desplazamiento del material de desmonte hacia los DME, es necesario establecer en los márgenes las barreras de protección / contención para la regulación de sedimentos, con el objetivo de prevenir cualquier posible movimiento de material o que estos se introduzcan en corrientes de agua. Como barrera de protección y contención, se puede emplear un cerco hecho de madera obtenida del desbosque utilizando geotextil. Si el terreno tiene algunas depresiones, se debe estructurar de manera similar a terrazas (MTC, 2005).
- El material excedente deberá ser distribuido en el núcleo del DME. Este material debe ser conformado a medida que se deposita para prevenir la existencia de zonas bajas o inundables dentro del DME que impidan la acumulación de agua. Siempre debe existir una pendiente en la parte superior del DME para facilitar su drenaje superficial (MTC, 2005).
- La evacuación del material debe realizarse de un extremo a otro del lugar, utilizando un tractor hasta crear un talud que será luego acondicionado (MTC, 2005).
- La disposición de los materiales se realizará de manera progresiva y compactada por cada tanda de vaciado, con el objetivo de reducir al mínimo el material particulado generado (MTC, 2005).
- Una vez que se ha ubicado el material de excavación en el DME, es necesario compactarlo para asegurar su estabilidad y prevenir deslizamientos, conforme a los métodos de construcción. El contratista tiene la obligación de proporcionar la técnica de compactación a emplear en función del tipo de terreno existente para su tratamiento (MTC, 2005).

- El depósito se llenará gradualmente con los materiales en la capa de espesor establecida por el proyecto, o por el Supervisor, ampliada y nivelada, evitando áreas donde se acumule agua y ofreciendo inclinaciones para el flujo natural del agua (MTC, 2005).
- Para reducir las infiltraciones de agua en el DME, es necesario compactar las dos capas finales previas a la superficie final, a través de múltiples pasadas de tractor de orugas (como mínimo 10 pasadas) (MTC, 2005).
- Los materiales de corte (top soil y residuos del desbroce) obtenidos durante la creación de vías de acceso, deben ser ubicados de manera individual en las márgenes del camino para su uso futuro en la restauración de esta zona afectada. Es imprescindible establecer barreras para regular los sedimentos y los flujos de ríos o quebradas (MTC, 2005).
- Si el subsuelo de los DME contiene materiales que se podrían emplear en la construcción de vías de acceso u otros usos, la explotación debe realizarse hasta una profundidad de 1 m sobre el nivel máximo de aguas subterráneas (MTC, 2005).
- Los contratistas tienen la posibilidad de proponer varias estrategias para la regulación de sedimentos/erosión, que serán evaluadas por el Supervisor (MTC, 2005).
- Los taludes de los DME deben originarse desde las áreas con cotas más bajas y deben presentar una inclinación no mayor a 2:1 (H-V) (MTC, 2005).
- Los taludes que superan los 2 m de altura deben ser alisados o redondeados, con el fin de suavizar la topografía y prevenir deslizamientos (MTC, 2005).
- Para asegurar la estabilidad de los taludes, se situará al pie una franja de sostenimiento compuesta por sacos de yute llenos con el material de corte, los cuales se colocarán formando un muro de cerca de 1 m de altura por 0.8 m de base, con una longitud variable (MTC, 2005).

3.4.2 Control de erosión y drenaje

- El DME se compone principalmente de top soil y arcillas. Estos materiales enfrentan dificultades de saturación de agua (lluvias), lo que podría provocar deslizamientos, razón por la cual se debe diseñar un sistema de drenajes para los DME (MTC, 2005).
- Cubrir con topsoil y el material sobrante del desbroce la superficie del talud como acción de control de drenaje superficial (MTC, 2005).

- Sembrar con especies autóctonas de la región (MTC, 2005).
- Es necesario que el DME disponga de un sistema de drenaje de coronación (en el contorno del depósito) que expulsará las aguas pluviales hacia los drenajes naturales ya existentes. Estos drenajes perimetrales deben poseer una forma triangular con $b = 0.45 \text{ m}$ y $h = 0.30 \text{ m}$. Esta red de descargas necesitará ser revestida, y el agua se descargará en áreas vegetales o drenajes naturales superficiales (MTC, 2005).
- La Supervisión inspeccionará de manera regular el funcionamiento y eficacia de la red de drenaje (MTC, 2005).
- Como parte de las acciones de control de erosión, se pondrán en marcha trampas de sedimentos (MTC, 2005).
- Se implementará un seguimiento de sólidos totales suspendidos o turbidez. Se pondrán en marcha trampas para sedimentos (MTC, 2005).

3.5 Cierre

Según el MTC (2005), para el cierre se debe considerar lo siguiente:

- Se refiere a la limpieza completa de los espacios empleados durante el proceso de construcción. Según lo mencionado, las zonas ocupadas por DME deberán ser objeto de una limpieza de residuos, basura en general, desechos, derrames y cualquier elemento que no pertenezca al medio natural. Para estos objetivos, se emplearán los sitios previamente asignados para la deposición y confinamiento de los desechos (MTC, 2005).
- Al finalizar la fase de construcción, los DME deberán estar correctamente estructurados conforme a los diseños establecidos en la etapa correspondiente. Este debe compactarse de forma que mantenga la armonía con la morfología actual del área y a un nivel que no obstaculice la siguiente actividad de restauración y recuperación ambiental de zonas impactadas, empleando la flora autóctona del lugar y realizándose, en caso de árboles y arbustos (MTC, 2005).

Capítulo IV. Metodología de Hawley - Cuning

Actualmente, para el sector minero, se tiene una guía denominada “*Guidelines for Mine Waste Dump and Stockpile Design*” de los autores Hawley & Cuning (2017), en la cual se presenta una metodología práctica para el diseño, construcción, operación, monitoreo y cierre de pilas de acopio y vertederos de desechos asociadas con grandes minas a cielo abierto, es decir, es aplicable principalmente a depósitos de desmonte (DDM), entre otros.

En el sector minero, específicamente en Chile, se emplea esta metodología para brindar las recomendaciones de diseño de sus depósitos de desmonte de mina (DDM) en su “*Guía de Presentación de Proyectos de Botaderos de Estériles en Faenas Mineras*” del Sernageomin (2023).

Cabe mencionar que estos botaderos de mina, también conocidos como depósitos de desmonte de mina (DDM) (véase la Figura 3) tienen gran similitud geométrica con los depósitos de material excedente de carreteras (DME) (véase la Figura 2) ya que ambos están compuestos por materiales granulares con presencia de bolones y bloques de gran tamaño; asimismo, ambas estructuras son diseñadas típicamente por una serie de banquetas.

4.1 Diseño de un DDM

La metodología propuesta por Hawley & Cuning (2017) sostiene que para el diseño integral de un depósito de desmonte de mina (DDM), es necesario tener en cuenta una variedad de factores interconectados que pueden variar a lo largo del ciclo de vida de la mina, desde la ingeniería conceptual hasta el cierre, tal como se presenta en la Figura 5. Por lo tanto, se debe establecer criterios de elección del sitio y emplearlos para reconocer y categorizar opciones en una fase inicial.

Inicialmente, se debe elaborar diseños conceptuales que respeten las restricciones físicas establecidas por el lugar y que además satisfagan las metas económicas, geotécnicas, sociales y medioambientales (Hawley & Cuning, 2017).

Después, es necesario llevar a cabo estudios de prefactibilidad para definir líneas de base ambientales, explorar y describir sitios alternativos, describir el material de desmonte, confirmar conceptos de diseño y restringir el proceso de elección del lugar (Hawley & Cuning, 2017).

Luego, se llevan a cabo más exhaustivas investigaciones de factibilidad y análisis de diseño para tratar cualquier brecha de datos, mejorar los diseños y elaborar planes de implementación exhaustivos, directrices y controles operativos y planes preliminares de cierre (Hawley & Cuning, 2017).

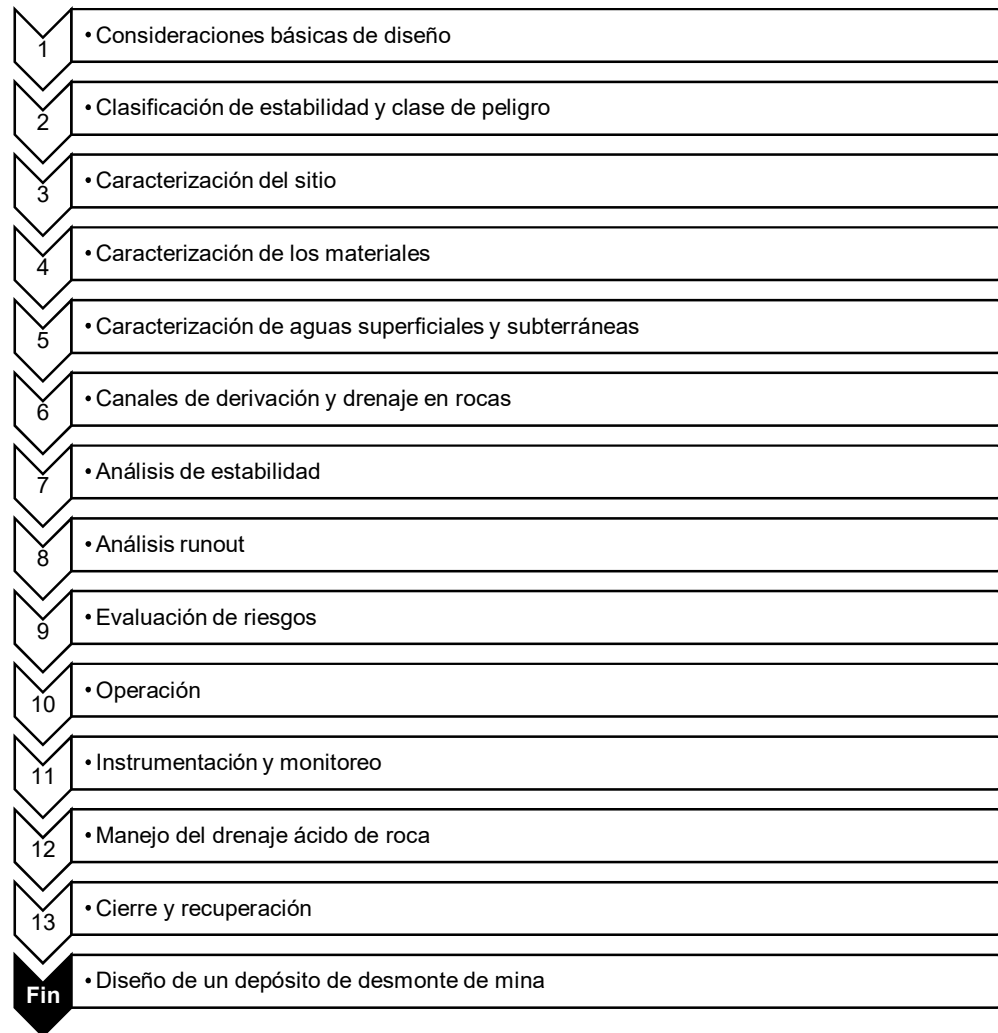
Posteriormente, en la etapa de operación, se requerirán modificaciones al diseño para ajustarse a las modificaciones ineludibles en el plan de la mina y ajustarse al comportamiento real (Hawley & Cuning, 2017).

Finalmente, desde el inicio, la planificación del cierre debe ser un componente del proceso de diseño y, al concluir la vida útil de la mina, puede sustituir otros objetivos de diseño (Hawley & Cuning, 2017).

En resumen, la metodología de Hawley & Cuning (2017) considera el siguiente procedimiento general para proponer el diseño de un depósito de desmonte de mina (DDM) que se presenta en la siguiente Figura 4.

Figura 4

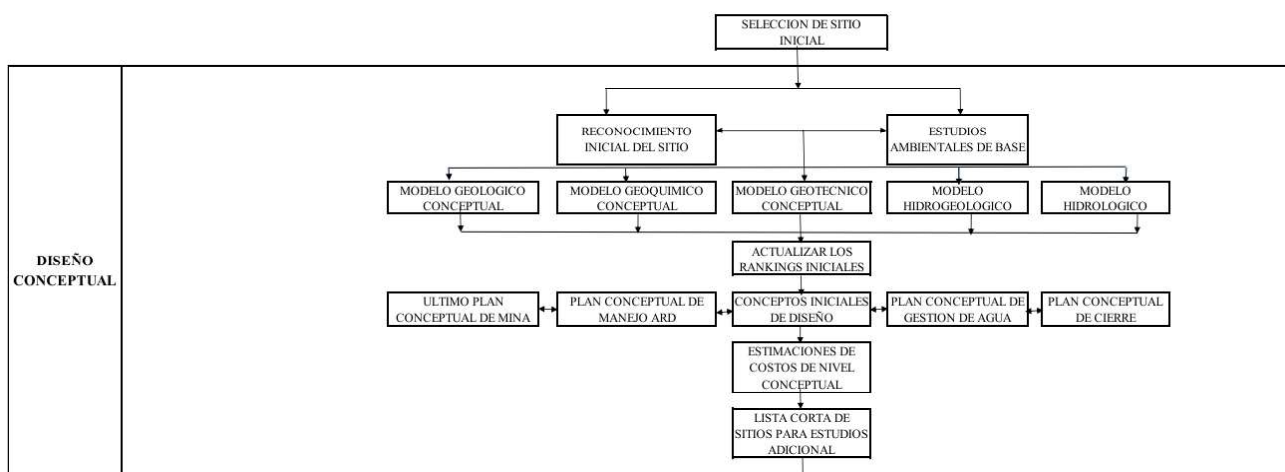
Procedimiento general para proponer el diseño de un depósito de desmonte de mina



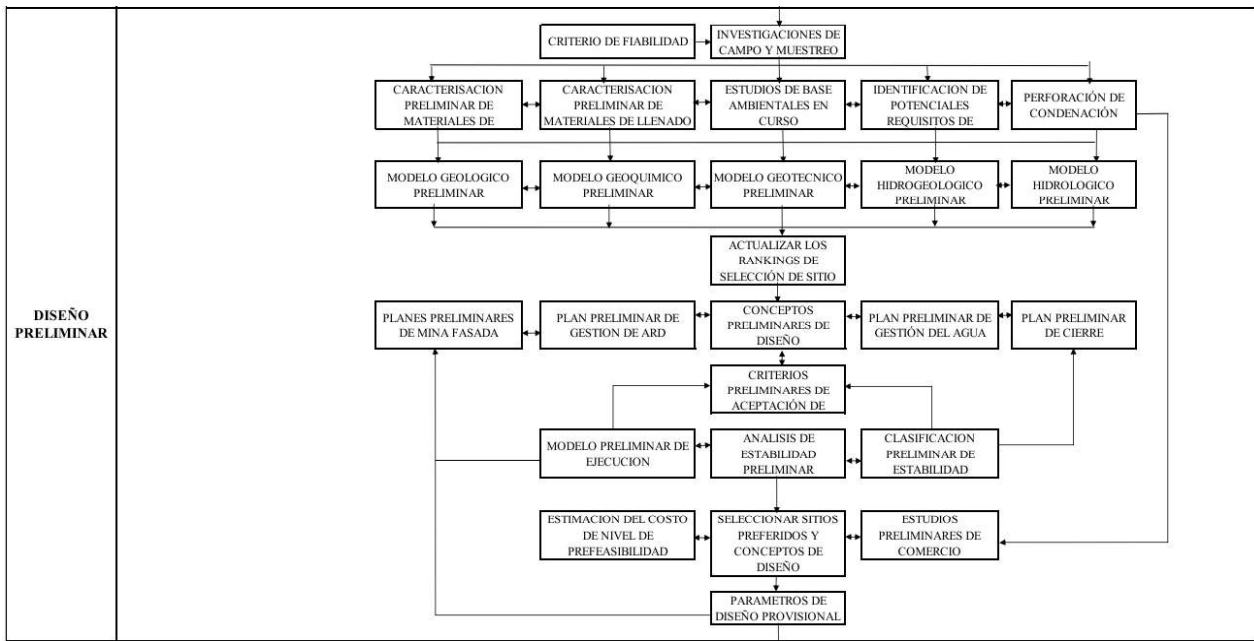
Nota. Basado en la metodología de (Hawley & Cuning, 2017).

Figura 5

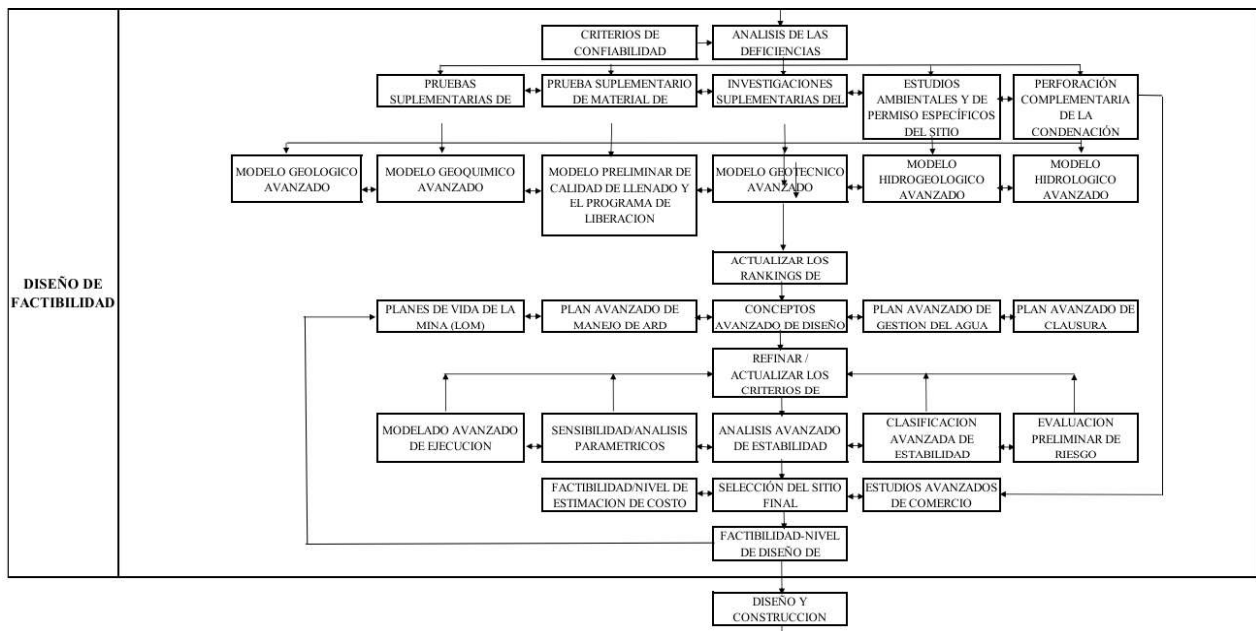
Proceso general de diseño integral de un DDM: desde el diseño conceptual hasta el cierre



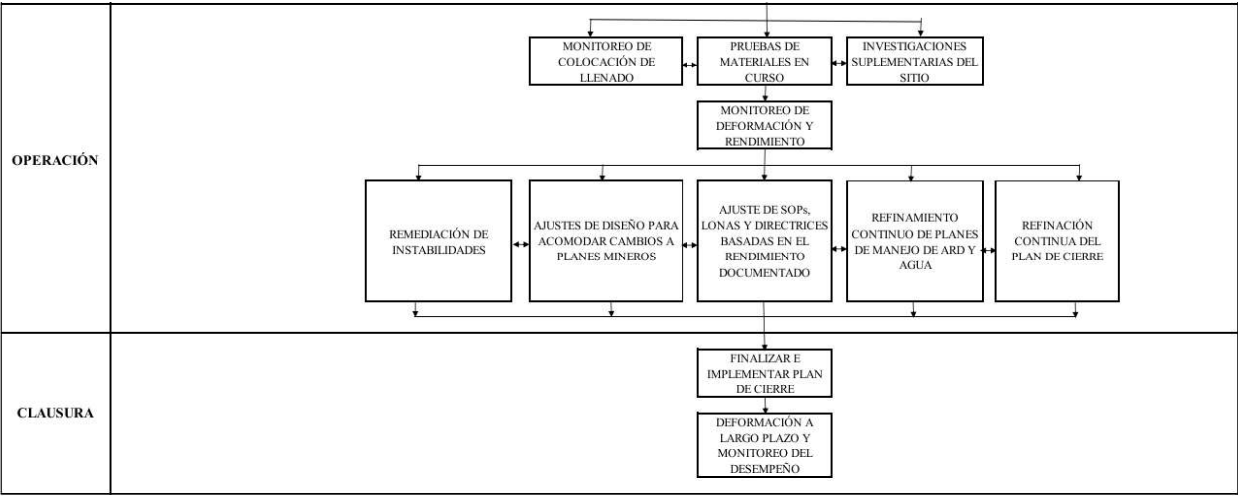
(continúa)



(continúa)



(continúa)



Nota. Extraído de (Gaviria & Suárez, 2019), traducción de (Hawley & Cuning, 2017).

Además, la metodología define 22 factores para la clasificación de estabilidad (WSR, por sus siglas en inglés) y la clase de peligro (WHC, por sus siglas en inglés) de los Depósitos de Desmonte de Mina (DDM). Estos factores se muestran en la siguiente Tabla 1 y se detallan en las siguientes siete (07) tablas. Véase la Tabla 2, Tabla 3, Tabla 4, Tabla 5, Tabla 6, Tabla 7 y Tabla 8. Una vez clasificado el DDM, se puede definir el Índice de Ingeniería Geológica (EGI) y el Índice de Diseño y Desempeño (DPI) del DDM como se resume en la Tabla 9, y a partir de ello podemos definir la clasificación de estabilidad (WSR) y clase de peligro (WHC) del DDM como se muestra en la Tabla 10. Finalmente, con esta metodología se puede tomar como guía para el nivel de esfuerzo requerido para investigar, diseñar y construir un DDM como se resume en la Tabla 11.

Tabla 1

Estructura general del sistema de 22 factores para la clasificación de estabilidad y clase de peligro de los depósitos de desmonte de mina

ID	Factor	Grupo	Índice	Clasificación	Clase
1	Sismicidad	Ubicación regional	Índice de Ingeniería y Geología (EGI)	Clasificación de estabilidad (WSR)	Clase de peligro (WHC)
2	Precipitación				
3	Ángulo de fundación				
4	Forma de la fundación				
5	Tipo de fundación				
6	Espesor de capa débil	Condiciones de fundación			
7	Potencial de falla no drenada				
8	Potencial de licuación de la fundación				
9	Basamento rocoso				
10	Nivel freático				
11	Gradación	Calidad de materiales			
12	Resistencia y durabilidad intacta				
13	Potencial de licuación de materiales				
14	Estabilidad química				
15	Altura	Geometría y masa	Índice de Diseño y Rendimiento (DPI)		
16	Ángulo de pendiente				
17	Volumen y masa				
18	Estabilidad estática	Análisis de estabilidad			
19	Estabilidad dinámica				
20	Método constructivo	Construcción			
21	Ratio de carga de construcción				
22	Rendimiento de estabilidad	Rendimiento			

Nota. Traducido de (Hawley & Cuning, 2017).

Tabla 2

Factores de ubicación regional y clasificación

Factores ⁽¹⁾		Clasificación				
Sismicidad	Muy alta	Alta	Moderada	Baja	Muy baja	
Aceleración pico esperada del suelo (g): basada en evento con periodo de retorno de 1:475 años / 10% de probabilidad de excedencia en 50 años	> 0.4	0.2 – 0.4	0.1 – 0.2	0.05 – 0.1	< 0.05	
Aceleración pico esperada del suelo (g): basada en terremoto máximo creíble (MCE)	> 0.6	0.4 – 0.6	0.2 – 0.4	0.1 – 0.2	< 0.1	
Clasificación	0	0.5	1	1.5	2	
Precipitación	Muy alta	Alta	Moderada	Baja	Muy baja	
Precipitación media anual: lluvia (mm)	> 2000	1000 – 2000	350 – 1000	100 – 350	< 100	
Precipitación media anual: nieve (cm)	> 200	100 – 200	35 – 100	10 – 35	< 10	
Precipitación total anual: equivalente en lluvia (mm)	> 2000	1000 – 2000	350 – 1000	100 – 350	< 100	
Clasificación ⁽²⁾	0	2	4	6	8	
Clasificación de la ubicación regional ⁽³⁾		Máxima clasificación posible			10	

Nota. Traducido de (Hawley & Cuning, 2017).

1. Seleccione una calificación para cada factor. Cuando haya más de un criterio para un mismo factor, o no pueda decidir entre dos calificaciones, seleccione una calificación promedio o intermedia.
2. Para sitios que experimenten lluvias estacionales intensas o eventos rápidos de escorrenría, disminuya el valor de calificación en 1 punto.
3. La suma de las calificaciones de los factores individuales es la calificación de la ubicación regional.

Tabla 3

Factores de condiciones de fundación y clasificación

Factores ⁽¹⁾		Clasificación			
Pendiente de fundación	Muy empinada	Empinada	Moderada	Suave	Plana; talud de roca escalonado; relleno de excavación
Pendiente media general de la fundación (°)	> 32	25 – 32	15 – 25	5 – 15	< 5
Clasificación	0	1	2.5	4	5
Forma de la fundación ⁽²⁾					
Forma de sección	Convexa en pendientes empinadas a muy empinadas	Convexa en pendientes moderadas ; cóncava o plana en pendientes empinadas a muy	Convexa en pendientes suaves; plana o cóncava en pendientes moderadas	Plana o cóncava en pendientes suaves	Plana o cóncava en superficies planas o muy irregulares

empinadas

Forma en planta	Pendientes con una forma convexa pronunciada ("nariz")	Pendientes convexas de gran radio	Pendientes planas sin confinamiento lateral	Pendientes cóncavas y valles anchos con confinamiento natural limitado	Valles estrechos o barrancos que proporcionan un confinamiento natural sustancial
Clasificación	0	0.5	1	1.5	2
Tipo de sobrecarga	Tipo I	Tipo II	Tipo III	Tipo IV	Tipo V
Descripción	Suelos altamente orgánicos; limos y arcillas muy blandos; arcillas muy sensibles; otros suelos muy débiles	Suelos finos blandos, sueltos o sensibles (por ej. depósitos lacustres, limos y arcillas, suelos residuales finos)	Depósitos aluviales; arenas y gravas coluviales de sueltas a moderadamente densas; suelos morrénicos de grano mixto; suelos residuales arenosos; suelos finos rígidos	Roca muy meteorizada pero coherente; depósitos de talud competentes; suelos de grano grueso de moderadamente densos a densos; morrena de grano mixto moderadamente densa (till glacial)	Morrena muy densa de grano mixto (till glacial) y otros suelos muy competentes o duros; suelos permanentemente congelados con potencial de deformación por carga de terraplén despreciable; roca competente
Clasificación	0	1	2	3	4
Espesor de sobrecarga (m)	> 5	3 – 5	1 – 3	0.3 – 1	< 0.3
Clasificación	0	0.5	1	1.5	2
Potencial de falla no drenada ⁽³⁾	Muy alto ⁽⁵⁾	Alto ⁽⁶⁾	Moderado	Bajo	Despreciable
Descripción	Saturados, normalmente o subconsolidados, compresibles Tipo I o II, suelos	Saturados, normal o ligeramente sobreconsolidados, compresibles Tipo I o	Saturados, normalmente consolidados, mezclas o suelos finos Tipo	No saturados, normalmente o sobreconsolidados	Muy sobreconsolidados Tipo III, IV o suelos de grano mixto Tipo V, o roca

con muy baja conductividad ad hidráulica que se comportan como materiales de baja resistencia S_u (sin fricción); muy alto potencial de generación de presiones de poros excesivas cuando se cargan rápidamente	II, suelos con baja conductividad ad hidráulica que se comportan según el criterio de Mohr- Coulomb ($c-\phi$); alto potencial de generación de presiones de poros excesivas cuando se cargan rápidamente	III o IV con baja a moderada conductividad ad hidráulica y potencial moderado para generar presiones de poros excesivas cuando se cargan rápidamente; potencial desconocido de falla no drenada	ados, mezclas o suelos finos Tipo III o IV con moderada conductividad hidráulica y bajo potencial para generar presiones de poros excesivas cuando se cargan rápidamente; bajo potencial de falla no drenada, pero que no puede ser completamente descartado	competentes o suelos granulares Tipo III o IV con alta conductividad ad hidráulica, alta resistencia y potencial despreciable de generación de presiones de poros excesivas cuando se cargan rápidamente
--	--	---	--	--

Clasificación	-20	-10	-5	-2.5	0
Potencial de Licuefacción de la Cimentación ⁽⁴⁾	Muy Alto	Alto	Moderado	Bajo	Despreciable
Descripción	Muy uniforme; muy suelto; mínimo de finos plásticos; abierto, con estructura de soporte de clastos; alta relación de vacíos; redondeado, con clastos saturados	Arcillas extra sensibles y suelos débilmente arcillosos	Moderado (o desconocido) potencial de licuefacción de cimentación	Bajo potencial de licuefacción, pero no puede ser totalmente descartado	Bien graduado; denso; alto contenido de finos plásticos; estructura con soporte de matriz; baja relación de vacíos; clastos angulares; seco
Clasificación	-20	-10	-5	-2.5	0

Roca	Tipo A	Tipo B	Tipo C	Tipo D	Tipo E
Competencia ⁽⁷⁾	Roca muy débil y/o arcilla muy alterada, cizallada o altamente fracturada, laminada, con alto contenido de carbonatos de carbón, con presencia de esquistos, filita, flysch, GSI/RMR < 20; Q < 1	Roca de grano fino; rocas sedimentarias; moderadamente alterada o rocas alteradas; moderadamente a intensamente fracturada; GSI/RMR 20-40; Q 1-4	Roca moderadamente competente; moderadamente fracturada; ligeramente alterada/alterada; GSI/RMR 40-60; Q 4-10	Competente, dura, sin alterar/intermedizar, no alterada, en bloques; GSI/RMR 60-80; Q 10-40	Muy competente, sin alterar, no alterada, dura, maciza; GSI/RMR > 80; Q > 40
Estructura	Fallas y zonas de corte orientadas de forma adversa; potencial de falla de cimentación estructuralmente controlada	Juntas continuas orientadas de forma adversa; potencial de falla de cimentación por anisotropía de fábrica bien desarrollada	Potencial limitado (o desconocido) de falla de cimentación en la estructura principal o anisotropía de fábrica moderadamente desarrollada	Potencial de falla de cimentación insignificante o anisotropía de fábrica poco desarrollada	No hay estructura o fábrica adversa
Clasificación	0	1	2	3	4
Agua Subterránea	Alta	-	Moderada	-	Baja
Condiciones del Agua Subterránea Esperadas	Nivel freático en la superficie; descarga activa o filtración; gradientes ascendentes fuertes; potencial de generación de altas presiones de poros en la cimentación debido a la carga del terraplén	-	Nivel freático a > 5 m por debajo de la superficie del suelo; potencial limitado de desarrollo de presiones de poros adversas en la cimentación debido a la carga del terraplén	-	Nivel freático a gran profundidad; potencial insignificante de presiones de poros adversas en la cimentación
Clasificación	0	-	1.5	-	3

Clasificación de las condiciones de fundación
(8)

Máxima clasificación posible 20

Nota. Traducido de (Hawley & Cuning (2017).

1. Seleccione una calificación para cada factor. Cuando se muestre más de un criterio para un factor dado, o si no puede decidir entre dos calificaciones, seleccione una calificación promedio o intermedia.
2. Elija la forma que mejor describa la geometría de la cimentación en planta y en sección. Las cimentaciones convexas se estrechan hacia la punta en la sección y carecen de confinamiento lateral en la planta; las cimentaciones cóncavas se aplanan hacia la punta en la sección y proporcionan confinamiento lateral en la planta.
3. La evaluación del potencial de falla de cimentación no drenada puede requerir investigaciones in situ detalladas y pruebas de laboratorio especializadas. Si es desconocido o no está seguro, utilice un valor predeterminado de -5 y consulte a un especialista en geotecnia.
4. La evaluación del potencial de licuefacción de los suelos de cimentación puede requerir investigaciones in situ detalladas. Si es desconocido o no está seguro, utilice un valor predeterminado de -5 y consulte a un especialista en geotecnia.
5. Si el potencial de falla no drenada o el potencial de licuefacción de la cimentación se considera Muy Alto, el vertedero de residuos o la pila de acopio debe clasificarse como WHC V (Peligro Muy Alto), independientemente del WSR.
6. Si el potencial de falla no drenada o el potencial de licuefacción de la cimentación se considera Alto, el vertedero de residuos o la pila de acopio debe clasificarse como WHC IV (Peligro Alto), a menos que el WSR sea ≤ 20 , en cuyo caso debe clasificarse como WHC V (Peligro Muy Alto).
7. Consulte a Hoek et al. (2013) para obtener una descripción del Índice de Resistencia Geológica (GSI), a Bieniawski (1976) para obtener una descripción de RMR, y a Barton et al. (1974) para obtener una descripción de Q.
8. La suma de las calificaciones para los factores individuales es la calificación de las condiciones de la cimentación.

Tabla 4

Factores de calidad de los materiales y clasificación

Factores ⁽¹⁾	Clasificación				
Granulometría	Muy Fino	-	Grano Mixto	-	Muy Grueso
% Finos (pasan malla #200; < 0,075 mm)	> 50 %	25–50 %	10–25 %	5–10 %	< 5 %
% Mayor a 75 mm	> 10 %	10–25 %	25–50 %	50–75 %	> 75 %
Plasticidad ⁽²⁾	Altamente plásticos; LL > 50; IP > 20	Moderadamente plásticos; LL 35–50; IP 10–20	Finos de baja plasticidad; LL < 35; IP < 10	N/A	N/A
Clasificación	0	2	3.5	5	7
Resistencia Intacta y Durabilidad	Tipo 1	Tipo 2	Tipo 3	Tipo 4	Tipo 5
Resistencia intacta	Rocas extremadamente débiles a muy débiles, R0–1 (UCS < 5 MPa); lecho rocoso Tipo A; sobrecarga Tipos I y II	Rocas débiles, R2 (UCS 5–25 MPa); lecho rocoso Tipo B; sobrecarga Tipos II, IV y la mayoría de Tipo V	Rocas medianamente resistentes, R3 (UCS 25–50 MPa); la mayoría de lecho rocoso Tipo C; aluvión de grano	Rocas resistentes a muy resistentes, R4 (UCS 50–100 MPa); la mayoría de lecho rocoso Tipo D	Rocas muy resistentes a extremadamente resistentes, R5–6 (UCS > 100 MPa); la mayoría de lecho rocoso Tipo E

			grueso y detritos derivados de rocas duras		
		Material propenso a desintegrarse durante la colocación; degradación con el tiempo debido a disgregación o ciclos de congelación— deshielo; o trituration bajo carga estática prevista	Material con desintegración limitada durante la colocación; degradación con el tiempo debido a disgregación o ciclos de congelación — deshielo; o trituration bajo carga estática prevista	Material no propenso a desintegrarse durante la colocación; degradación con el tiempo debido a disgregación o ciclos de congelación — deshielo; o trituration bajo carga estática prevista	Material no propenso a desintegrarse durante la colocación; degradación con el tiempo debido a disgregación o ciclos de congelación — deshielo; o trituration bajo carga estática prevista
Durabilidad ⁽³⁾					
	Material Tipo 1 permanente congelado	Material Tipo 2 permanente congelado	Material Tipo 2 permanente congelado	Material Tipo 3 permanente congelado	Materiales Tipos 4 y 5 permanentes congelados
Permafrost ⁽⁴⁾					
Clasificación	0	2	4	6	8
Potencial de Licuefacción del Material ⁽⁵⁾	Muy Alto ⁽⁶⁾	Alto ⁽⁷⁾	Moderado o Desconocido	Bajo	Despreciable
	Muy uniformemente graduado; muy suelto; finos plásticos mínimos; estructura abierta, soportada por clastos; alta relación de vacíos; clastos redondeados; saturado	-	Moderado (o desconocido) potencial de licuefacción	Bajo potencial de licuefacción, pero no puede descartarse por completo	Bien graduado; denso; alto contenido de finos plásticos; estructura soportada por matriz; baja relación de vacíos; clastos angulares; seco
Descripción					
Clasificación	-20	-10	-5	-2.5	0
Estabilidad Química	Altamente Reactivo	-	Moderadamente Reactivo	-	Neutro
Potencial de DAR (Drenaje Ácido de Roca)	Alto potencial de	-	Moderado (o	-	Material muy

	degradación química/oxidación/generación de DAR		desconocido) potencial de degradación química/oxidación/ generación de DAR		químicamente estable con contenido insignificante de minerales reactivos
			Potencial limitado (o desconocido) de que los precipitados llenen vacíos, disminuyan la conductividad hidráulica y aumenten las presiones de poro con el tiempo		Precipitados insignificantes, o los precipitados resultan en cementación y aumento de la resistencia al corte con el tiempo sin afectar adversamente las presiones de poro
Impacto de los precipitados	Alto potencial de que los precipitados llenen vacíos, disminuya la conductividad hidráulica y aumenten las presiones de poro con el tiempo	-		-	
Clasificación	-5	-2.5	0	2.5	5
Clasificación de Calidad del Material ⁽⁸⁾	Máxima clasificación posible				20

Nota. Traducido de (Hawley & Cuning, 2017).

1. Seleccione una calificación para cada factor. Cuando se muestre más de un criterio para un factor determinado, o si no puede decidir entre dos calificaciones, seleccione un valor promedio o intermedio.
2. LL = Límite Líquido; PI = Índice de Plasticidad. Estos criterios se aplican únicamente a los casos en que el contenido de finos sea > 10%.
3. Bajo condiciones climáticas ambientales esperadas.
4. Si el material está permanentemente congelado, seleccione la siguiente categoría más alta para considerar el aumento esperado de durabilidad y resistencia.
5. La evaluación del potencial de licuefacción de materiales de botaderos y acopios puede requerir investigaciones detalladas. Si se desconoce, utilice un valor predeterminado de -5 y consulte con un especialista geotécnico.
6. Si se juzga que el Potencial de Licuefacción del Material es Muy Alto, el botadero o acopio debe clasificarse como WHC V (Peligro Muy Alto), independientemente del WSR.
7. Si se juzga que el Potencial de Licuefacción del Material es Alto, el botadero o acopio debe clasificarse como WHC IV (Peligro Alto), a menos que el WSR sea ≤ 20 , en cuyo caso debe clasificarse como WHC V (Peligro Muy Alto).
8. La suma de las calificaciones de los factores individuales es la Calificación de Calidad del Material.

Tabla 5

Factores de geometría y masa y clasificación

Factores ⁽¹⁾	Clasificación				
Altura	Muy Alto	Alto	Moderado	Bajo	Muy Bajo
Altura total (m)	> 500	250 - 500	100 - 250	50 - 100	< 50
Espesor vertical máximo (m)	> 500	250 - 500	100 - 250	50 - 100	< 50
Altura máxima de banquetta individual (m)	> 200	100 - 200	50 - 100	25 - 50	< 25
Clasificación	0	1	2	3	4
Ángulo	Muy empinado	Empinado	Moderado	Plano	Muy plano
Ángulo total del talud de relleno (°) ⁽²⁾	> 35	30 - 35	25 - 30	15 - 25	< 15
Clasificación	0	1	2	3	4
Volumen y Masa	Muy grande	Grande	Medio	Pequeño	Muy pequeño
Volumen (m ³)	> 1 × 10 ⁹	1 × 10 ⁸ – 1 × 10 ⁹	1 × 10 ⁷ – 1 × 10 ⁸	1 × 10 ⁶ – 1 × 10 ⁷	< 1 × 10 ⁶
Masa (t)	> 2 × 10 ⁹	2 × 10 ⁸ – 2 × 10 ⁹	2 × 10 ⁷ – 2 × 10 ⁸	2 × 10 ⁶ – 2 × 10 ⁷	< 2 × 10 ⁶
Clasificación	0	0.5	1	1.5	2
Clasificación de Geometría y Masa ⁽³⁾	Máxima clasificación posible				10

Nota. Traducido de (Hawley & Cuning, 2017).

1. Selecciona una calificación para cada factor. Cuando haya más de un criterio para un factor, o si no puedes decidir entre dos calificaciones, selecciona un valor promedio o intermedio.
2. El ángulo total del talud de relleno se mide desde el pie hasta la cresta. Si la altura total del relleno es menor de 50 m, usar una calificación mínima por defecto de 2. Si la altura total del relleno está entre 50 y 100 m, usar una calificación mínima por defecto de 1.
3. La suma de las calificaciones de los factores individuales es la Calificación de Geometría y Masa.

Tabla 6

Factores de análisis de estabilidad y clasificación

Factores ⁽¹⁾		Clasificación			
Estabilidad Estática ⁽²⁾					
Factor de Seguridad (FoS) o Factor de Reducción de Resistencia (SRF) ⁽³⁾	< 1.10	1.10 – 1.20	1.20 – 1.30	1.30 – 1.50	> 1.50
Probabilidad de Falla (PoF)	> 20%	10 – 20%	5 – 10%	1 – 5%	< 1%
Otro Criterio ^(4,5)	Modelo Numérico No Converge	Sin Análisis de Estabilidad de Soporte	Converge Modelo Numérico		
Clasificación	0	2	3.5	5	7
Estabilidad Dinámica ^(2,6)					
Factor de Seguridad (FoS) o Factor de Reducción de Resistencia (SRF) ⁽³⁾	< 1.00	1.00 – 1.05	1.05 – 1.10	1.10 – 1.15	> 1.15
Otro Criterio ^(7,8)	Modelo Numérico No Converge	Sin Análisis de	Converge Modelo Numérico		

Estabilidad de Soporte					
Clasificación	0	1	1.5	2	3
Clasificación de Análisis de Estabilidad ⁽⁹⁾				Máxima clasificación posible	10

Nota. Traducido de (Hawley & Cuning, 2017).

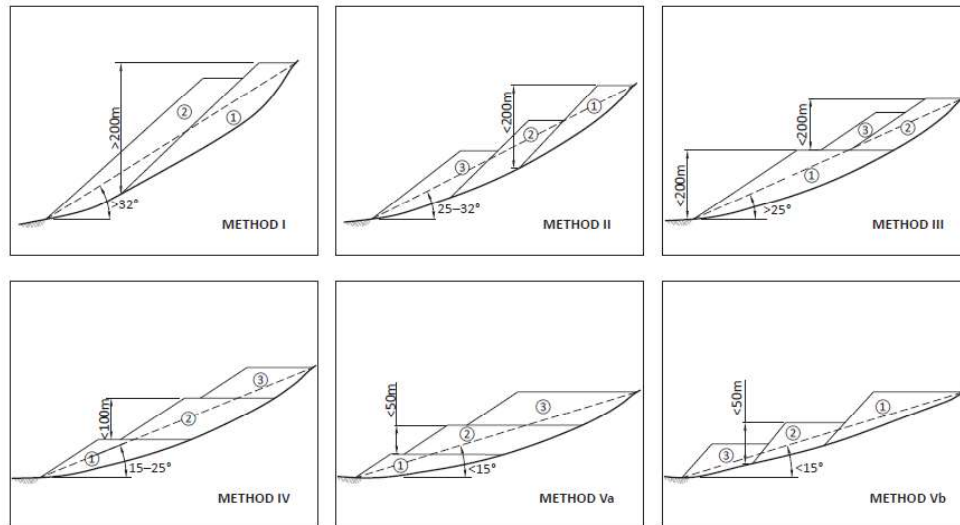
1. Seleccione una clasificación para cada factor. Cuando se muestra más de un criterio para un factor determinado, o no puede decidir entre dos clasificaciones, seleccione una clasificación promedio o intermedia.
2. Se supone que existe al menos un nivel moderado de confianza en los parámetros de entrada y que los resultados del análisis son creíbles y razonables.
3. Los valores del índice de estabilidad mostrados se basan en FoS. Si los resultados del análisis de estabilidad se presentan en términos de SRF, el usuario debe decidir si SRF es equivalente a FoS según los detalles del análisis y se recomienda consultar con un especialista geotécnico para tomar esta determinación.
4. Si los análisis numéricos indican un comportamiento convergente, se debe asignar una clasificación mínima de incumplimiento de 3.5. Si los análisis numéricos indicaron un comportamiento no convergente, se debe utilizar una clasificación predeterminada de cero (0).
5. Si no se dispone de análisis de estabilidad de apoyo, se debe asignar un valor predeterminado de 2.
6. Si se utilizan análisis pseudoestáticos para evaluar la estabilidad dinámica, se debe aplicar una reducción adecuada en la aceleración horizontal máxima de diseño.
7. Si los análisis numéricos indican un comportamiento convergente, se debería asignar una clasificación mínima de incumplimiento de 1.5. Si los análisis numéricos indican un comportamiento no convergente, se debe utilizar una clasificación predeterminada de cero (0).
8. Si no hay análisis de estabilidad de respaldo disponibles, se debe asignar un valor predeterminado de 1.
9. La suma de las clasificaciones de los factores individuales es la clasificación del Análisis de Estabilidad.

Tabla 7

Factores de construcción y clasificación

Factores ⁽¹⁾		Clasificación			
Método de Construcción	Método I	Método II	Método III	Método IV	Muy Bueno
Descripción	Secuencia descendente con banquetas simples o múltiples (envolventes), muy altas, contruidos sobre terreno muy accidentado; alturas de las banquetas > 200 m; pendientes generales de la fundación > 32°	Secuencia descendente con banquetas simples o múltiples (envolventes), contruidos sobre terreno accidentado; alturas de ascensor < 200 m; pendientes generales de cimentación 25 - 32°	Secuencia híbrida (combinación descendente y ascendente) diseñada para evitar la formación de puntas de elevación en terrenos muy empinados; alturas de banquetas < 200 m; pendientes generales de fundación > 25°	Secuencia ascendente con múltiples banquetas contruidos en terreno moderado; alturas de banquetas < 100 m; pendientes generales de fundación 15-25°	Secuencia descendente o ascendente en terreno suave o llano; alturas de banquetas < 50 m; pendientes generales de fundación < 15°
Clasificación	0	2	4	6	8
Ratio de Carga	Muy Alto	Alto	Moderado	Bajo	Muy Bajo

Ratio de Carga Volumétrico ($m^3/d/m$)	> 500	150 - 500	50 - 150	15 - 50	< 15
Rate de Carga de Masa ($t/d/m$)	> 250	75 - 250	25 - 75	7.5 - 25	< 7.5
Rate de Avance de Cresta (m^2/d)	> 500	150 - 500	50 - 150	15 - 50	< 15
Clasificación	0	2	3.5	5	7
Clasificación de construcción	Máxima clasificación posible				15



Nota. Traducido de (Hawley & Cuning, 2017).

1. Seleccione una clasificación para cada factor. Cuando se muestra más de un criterio para un factor determinado, o no puede decidir entre dos clasificaciones, seleccione una clasificación promedio o intermedia.
2. Seleccione el método que mejor describa la secuencia de desarrollo. Si la secuencia de construcción incluye atributos de más de un método, elija una clasificación intermedia.
3. La secuencia descendente se refiere a terraplenes que se construyen desde arriba utilizando banquetas envolventes; la secuencia ascendente se refiere a terraplenes que se construyen en banquetas desde abajo hacia arriba.
4. Rate de carga volumétrica = volumen suelto diario promedio (m^3/d) / longitud promedio de cresta activa (m). Incluye factor de volumen.
5. Rate de carga de masa = masa diaria promedio de relleno consignado al vertedero o depósito de desechos (t/d) / longitud promedio de cresta activa (m). Supone una densidad aparente nominal de $2.0 t/m^3$; ajuste según sea necesario.
6. Rate de avance de cresta = tasa diaria promedio de avance de cresta (m/d) x altura de banqueta promedio (m).
7. La suma de las clasificaciones de los factores individuales es la clasificación de construcción.

Tabla 8

Clasificación de rendimiento

Factores ⁽¹⁾		Clasificación			
Desempeño de Estabilidad	Muy Pobre ⁽²⁾	Pobre ⁽³⁾	Justo	Bueno	Muy Bueno
Descripción	Inestable; Se requieren cierres sustanciales a largo	De metaestable a inestable; cierres frecuentes a corto plazo;	Metaestable a estable; cierres ocasionales por deformación/	Estable; deformación y/o asentamiento menor; cierres raros;	Muy estable; deformación/ asentamiento insignificante; sin cierres; sin fracasos;

plazo o trabajos de reparación importantes: inestabilidad a gran escala (> 1 x 10 ⁶ t); impacto importante en las operaciones	fallas frecuentes de plata/cresta y/o fallas de cimientos locales, pero sin inestabilidad a gran escala (> 1 x 10 ⁶ t); impacto moderado en las operaciones	asentamiento ; pequeñas fallas ocasionales de plata (< 1 x 10 ⁵ t); Impacto limitado en las operaciones; vertederos y acopios de desechos sin historial de desempeño	pequeños fallos raros; impacto insignificante en las operaciones	sin impacto en las operaciones
--	--	---	--	--------------------------------

Clasificación	-15	-7.5	0	7.5	15
Clasificación de desempeño ⁽⁴⁾	Máxima clasificación posible				15

Nota. Traducido de (Hawley & Cuning, 2017).

1. Seleccione una clasificación para cada factor. Cuando se muestra más de un criterio para un factor determinado, o no puede decidir entre dos clasificaciones, seleccione una clasificación promedio o intermedia.
2. Si se considera que el desempeño de estabilidad es muy pobre, el vertedero o depósito de desechos debe clasificarse como WHC V (muy alto peligro), independientemente del WAR calculado.
3. Si se considera que el desempeño de estabilidad es deficiente, el vertedero o acopio de desechos debe clasificarse como WHC IV (Alto Peligro), a menos que el WSR sea < 20, en cuyo caso debe clasificarse como WHC V (Muy Alto Peligro).
4. La suma de las clasificaciones de los factores individuales es la clasificación de Desempeño.

Tabla 9

Resumen de la clasificación de estabilidad de un DDM

Índice de Ingeniería Geológica (EGI)	Ubicación Regional	Descripción	Muy Adverso	Adverso	Neutral	Favorable	Muy Favorable
		Clasificación	0	2.5	5	7.5	10
	Condiciones de Fundación	Descripción	Muy Pobre	Pobre	Justo	Bueno	Muy Bueno
		Clasificación	≤ 0	5	10	15	20
	Calidad de Materiales	Descripción	Muy Pobre	Pobre	Justo	Bueno	Muy Bueno
		Clasificación	≤ 0	5	10	15	20
	Geometría y Masa	Descripción	Muy Largo	Largo	Mediano	Pequeño	Muy Pequeño
		Clasificación	0	2.5	5	7.5	10
	Construcción	Descripción	Muy Desfavorable	Desfavorable	Intermedio	Favorable	Muy Favorable
		Clasificación	0	5	7.5	10	15
Índice de Diseño y Desempeño (DPI)	Desempeño	Descripción	Muy Pobre	Pobre	Justo	Bueno	Muy Bueno
		Clasificación	≤ 0	5	7.5	10	15

Nota. Traducido de (Hawley & Cuning, 2017).

Tabla 10

Definición de la clasificación de estabilidad de un DDM, clase de peligro y peligro de inestabilidad relativa

WSR	WHC	Peligro de Inestabilidad
80 - 100	I	Muy Bajo Peligro
60 – 80	II	Bajo Peligro
40 – 60	III	Moderado Peligro
20 – 40	IV	Alto Peligro
< 20	V	Muy Alto Peligro

Nota. Traducido de (Hawley & Cuning, 2017).

Abreviaturas:

WSR: Clasificación de estabilidad

WHC: Clase de peligro

1. Tenga en cuenta que, si el Potencial de Licuefacción de la Cimentación o el Potencial de Licuefacción del Material se considera muy alto, o el Desempeño se considera muy deficiente, el DDM debe clasificarse como WHC V (Peligro Muy Alto), independientemente del WSR. De la misma manera, si el Potencial de Licuefacción de la Cimentación o el Potencial de Licuefacción del Material se considera alto, o el Desempeño se considera deficiente, el DDM debe clasificarse como WHC IV (Peligro Alto) a menos que el WSR sea menor de 20, en cuyo caso debe clasificarse como WHC V.

Tabla 11

Nivel sugerido de esfuerzo basado en la clasificación de estabilidad de un DDM, clase de peligro y peligro de inestabilidad relativa

Clasificación de Estabilidad		Nivel de Esfuerzo		
Clase de Peligro (WHC)	Peligro de Inestabilidad	Investigación y caracterización	Análisis y diseño	Construcción y operación
I	Muy Bajo Peligro	Estudios básicos de escritorio para establecer la clasificación inicial de estabilidad y peligro; reconocimiento del sitio para confirmar suposiciones de estudios de escritorio e investigaciones de campo limitadas y pruebas para establecer/verificar las condiciones de la superficie; parámetros del material basados en literatura/experiencia y validados con pruebas limitadas de campo y de laboratorio; iniciar monitoreo ambiental de referencia limitado;	Análisis de estabilidad simplificado para verificar que la estabilidad no influye en las decisiones de diseño y los impactos potenciales son menores; diseño por especialista en geotecnia con revisión de pares	Preparación limitada del sitio; restricción mínima en la construcción; inspección visual periódica; inspección periódica por especialista en geotecnia

		perforación de condenación		
II	Bajo Peligro	Estudios de escritorio para establecer la clasificación inicial de estabilidad y peligro; reconocimiento del sitio para confirmar suposiciones de estudios de escritorio y planificar investigaciones de campo complementarias; mapeo y pruebas de calicatas según sea necesario para verificar las condiciones de la superficie; parámetros del material basados en literatura/experiencia y validados con pruebas limitadas de campo y de laboratorio; iniciar monitoreo ambiental de referencia limitado; perforación de condenación	Análisis de estabilidad para verificar que la estabilidad tiene un impacto limitado en el diseño; diseño por especialista en geotecnia con revisión de pares	Preparación limitada del sitio, puede incluir desvíos menores; restricciones de construcción estándar; instrumentación limitada y monitoreo visual con un plan de acción de respuesta de disparador (TARP) básico; inspección periódica por un especialista en geotecnia experimentado
III	Moderado Peligro	Estudios de escritorio exhaustivos para establecer la clasificación inicial de estabilidad y peligro; reconocimiento detallado del sitio para confirmar suposiciones de estudios de escritorio; mapeo detallado e investigaciones del subsuelo que probablemente incluyan pruebas de calicatas/zanjas y perforaciones limitadas y muestreo; instrumentación in situ y pruebas de laboratorio de índice y resistencia al corte para establecer las propiedades del material de la cimentación y del relleno; iniciar un programa integral de monitoreo ambiental de referencia; perforación de condenación	Estudios de inestabilidad exhaustivos, incluida la consideración del potencial de escorrentía; evaluación de riesgos cualitativa; diseño moderadamente restringido por la estabilidad y los impactos potenciales; estudios de optimización e impacto de mitigación; diseño realizado por un especialista en geotecnia experimentado con revisión de pares	Preparación moderada del sitio, puede incluir drenaje subterráneo y desvíos; instrumentación limitada de cimentación y relleno para verificar el rendimiento; medidas de mitigación de escorrentía/derrame, si se requieren; secuencia de construcción moderadamente restringida con control de la calidad y colocación del relleno; moderada a severa carga/tasas de avance restringidas; instrumentación estándar y monitoreo visual con TARP bien definidos; inspecciones periódicas (mínimo anual) por especialistas en

				geotecnia experimentados
IV	Alto Peligro	Estudios de escritorio detallados para establecer la clasificación inicial de estabilidad y peligro; reconocimiento integral del sitio para confirmar suposiciones de estudios de escritorio; mapeo detallado y por fases e investigaciones del subsuelo que probablemente incluyan pruebas de calicatas/zanjas, geofísica, perforaciones y muestreo especializados; instrumentación in situ y pruebas de laboratorio de índice y resistencia al corte para establecer las propiedades del material de la cimentación y del relleno con un alto grado de confianza; iniciar un programa integral de monitoreo ambiental de referencia; perforación de condenación	Estudio de diseño por fases con análisis de estabilidad detallados de las etapas intermedias y finales, incluidas las evaluaciones de escorrenría; estudios paramétricos; diseño restringido en gran medida por la estabilidad y los impactos potenciales; evaluación de riesgos semicuantitativa; optimización; estudios de compromiso y mitigación; diseño realizado por un especialista en geotecnia experimentado con revisión de pares; revisión por un especialista de terceros en etapas críticas del diseño	Preparación del sitio de moderada a extensa, que puede incluir drenaje subterráneo y desvíos; instrumentación de cimentación y relleno; medidas de mitigación de escorrenría/derrame; secuencia de construcción moderadamente restringida con control de la calidad y colocación del relleno; restricciones de carga/tasas de avance de moderadas a severas; instrumentación detallada y monitoreo visual con redundancia; TARP bien definidos y específicos del sitio; inspecciones y revisión frecuentes por un especialista en geotecnia experimentado; revisión anual o más frecuente por un especialista de terceros
V	Muy Alto Peligro	Estudios de escritorio detallados para establecer la clasificación inicial de estabilidad y peligro; reconocimiento integral del sitio para confirmar suposiciones de estudios de escritorio; mapeo detallado y por fases e investigaciones del subsuelo que probablemente incluyan extensas pruebas de calicatas/zanjas, geofísica, perforaciones y muestreo especializados; instrumentación in situ integral y pruebas sofisticadas y	Estudio de diseño por fases con análisis de estabilidad exhaustivos y sofisticados de las etapas intermedias y finales; evaluaciones de escorrenría detalladas; estudios paramétricos; diseño muy restringido por la estabilidad y los impactos potenciales; evaluación de riesgos cuantitativa; optimización detallada, estudios de compromiso y mitigación; diseño realizado por un especialista en	Preparación extensa del sitio, posiblemente incluyendo drenaje subterráneo crítico y desvíos; instrumentación de cimentación y relleno (multisistema) extensa; monitoreo visual con redundancia; TARP bien definidos y específicos del sitio; inspecciones y revisión frecuentes por un especialista en geotecnia experimentado; revisión anual o más frecuente por una junta de revisión de expertos

		exhaustivas de laboratorio de índice y resistencia al corte para establecer las propiedades del material de la cimentación y del relleno con un alto grado de confianza; extenso programa de monitoreo ambiental de referencia; perforación de condenación	geotecnia experimentado con revisión de pares; revisión por una junta de revisión de expertos en etapas críticas del diseño	
--	--	--	---	--

Nota. Traducido de (Hawley & Cuning, 2017).

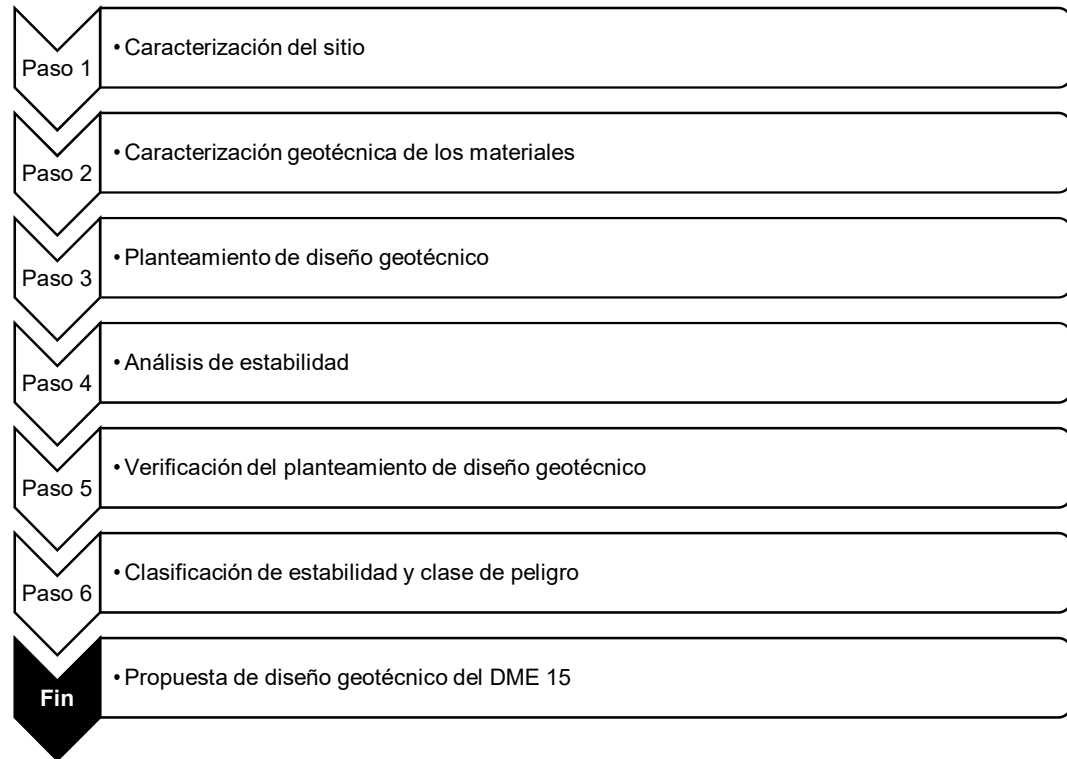
4.2 Diseño geotécnico de un DME

A partir de la metodología de Hawley Cuning para proponer el diseño de depósitos de desmonte de mina (DDM), que se describió en el subcapítulo anterior 4.1, se planteó proponer el diseño geotécnico de un depósito de material excedente (DME), específicamente el depósito de material excedente 15 (en adelante, DME 15) de la carretera Oyon Ambo, caso de estudio de la presente investigación.

La aplicación de la metodología de Hawley Cuning para el DME 15 se muestra en seis (06) pasos en la siguiente Figura 6, y se detalla en las siguientes Figura 7, Figura 8, Figura 9 y Figura 10.

Figura 6

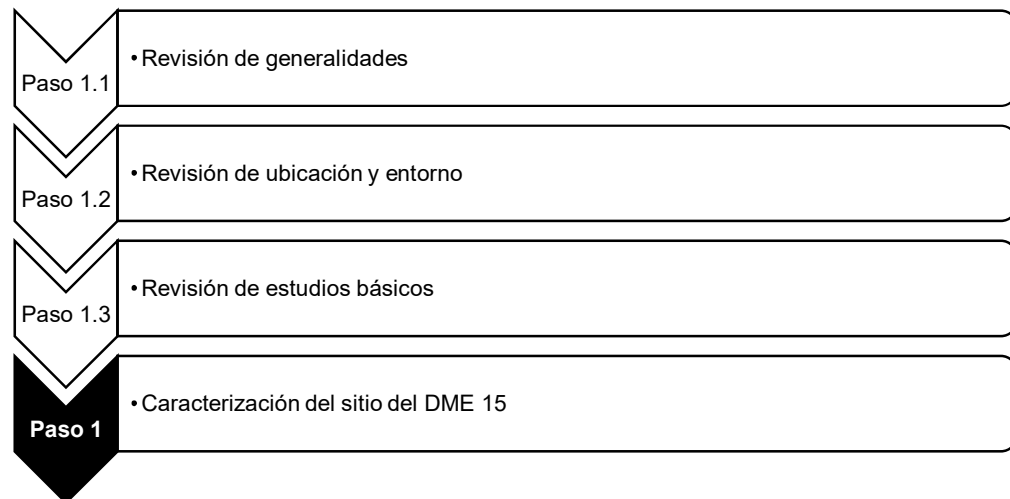
Aplicación de la metodología de Hawley - Cuning para proponer el diseño geotécnico del DME 15



Nota. Basado en la metodología de (Hawley & Cuning, 2017).

Figura 7

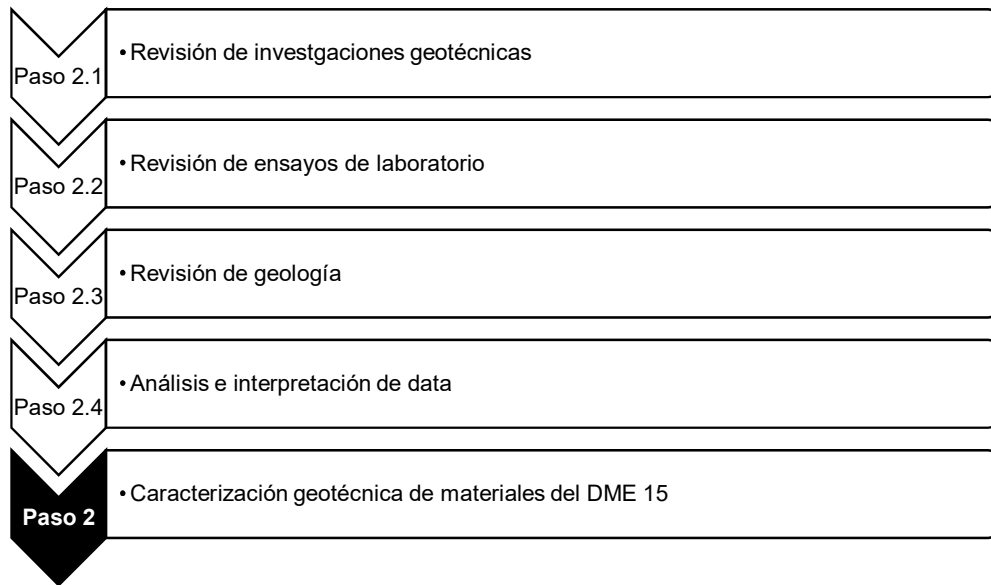
Planteamiento general para la caracterización de sitio del DME 15



Nota. Basado en la metodología de (Hawley & Cuning, 2017).

Figura 8

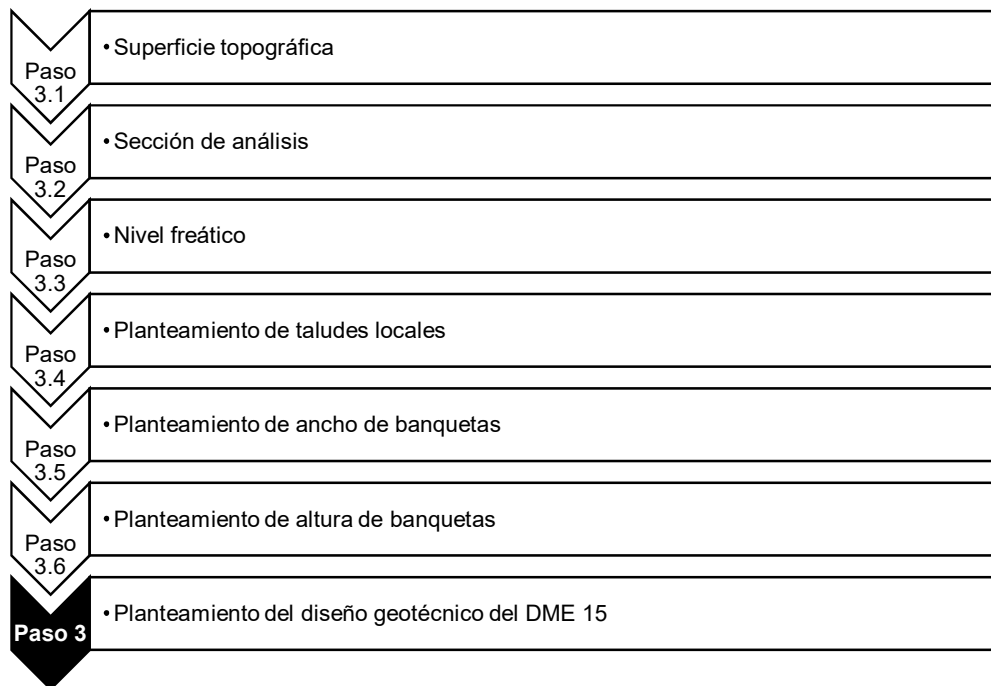
Planteamiento general para la caracterización geotécnica del DME 15



Nota. Basado en la metodología de (Hawley & Cuning, 2017).

Figura 9

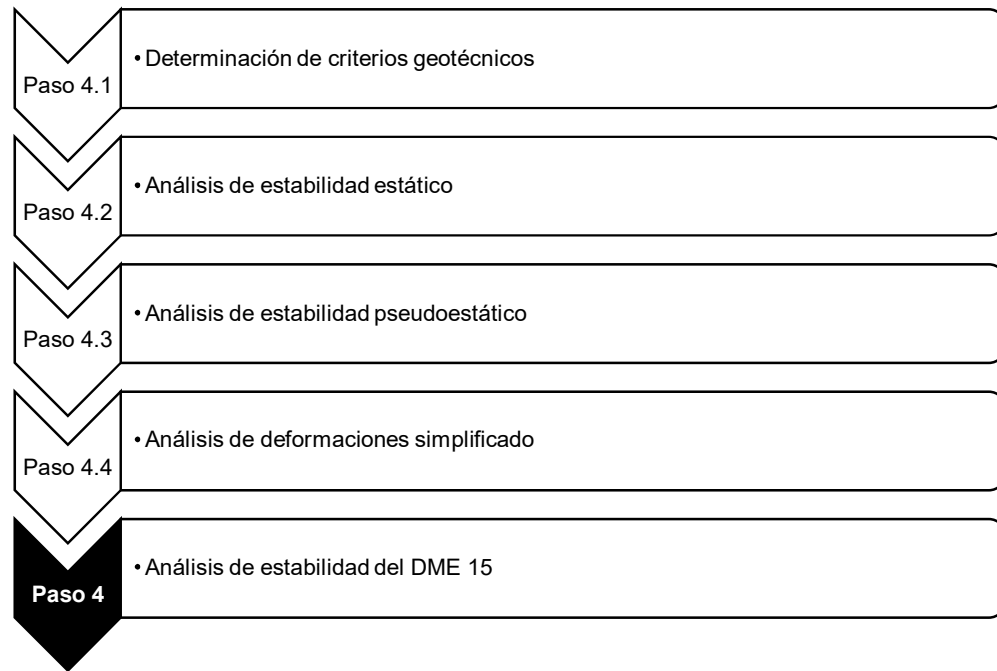
Planteamiento general para el planteamiento del diseño geotécnico del DME 15



Nota. Basado en la metodología de (Hawley & Cuning, 2017).

Figura 10

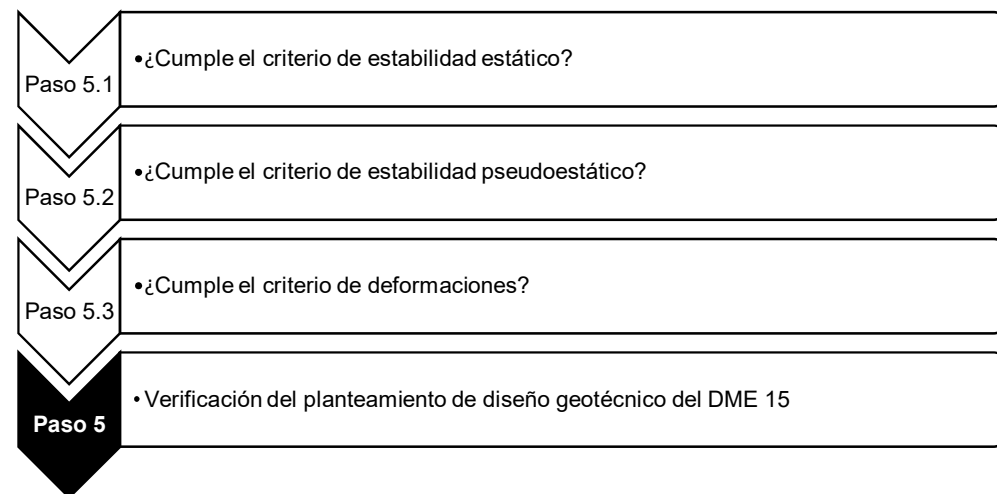
Planteamiento general para el análisis de estabilidad del DME 15



Nota. Basado en la metodología de (Hawley & Cunning, 2017).

Figura 11

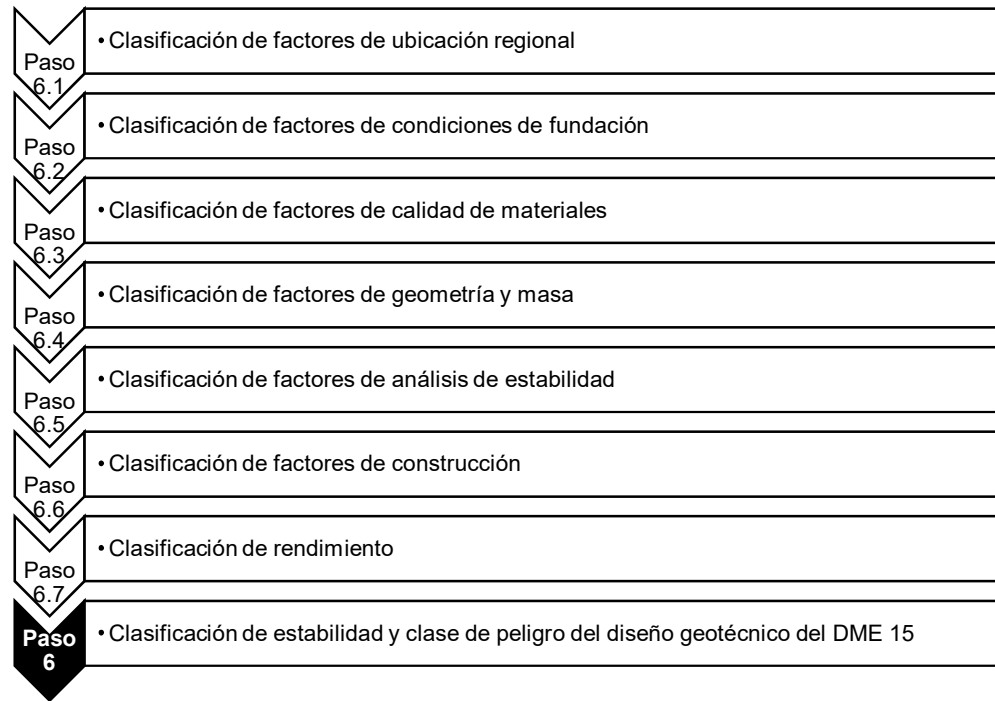
Planteamiento general para la verificación del planteamiento de diseño geotécnico del DME 15



Nota. Basado en la metodología de (Hawley & Cunning, 2017).

Figura 12

Planteamiento general para la clasificación de estabilidad y clase de peligro del diseño geotécnico del DME 15



Nota. Basado en la metodología de (Hawley & Cuning, 2017).

A continuación, se describe el paso a paso presentado en la Figura 6 para proponer el diseño geotécnico del DME 15 basado en la metodología de Hawley Cuning.

4.2.1 Caracterización del sitio

La caracterización es crucial para respaldar el proceso de diseño y elección del sitio apropiado. El grado de esfuerzo requerido para investigar y caracterizar se determina según la fase del proyecto, la clase de peligro (WHC) y la clasificación de estabilidad (WSR). Asimismo, las investigaciones de campo y los estudios básicos (geología, hidrología, hidrogeología, calidad del suelo, calidad del agua, fuentes de agua, otros) de caracterización del sitio deben abarcar el área total de la huella y las zonas cercanas que podrían influir directa o indirectamente en el sitio durante la instalación (por ejemplo, donde inciden las aguas superficiales) (Gaviria & Suárez, 2019).

4.2.2 Caracterización geotécnica de materiales

El proceso de caracterización de materiales se utiliza para apoyar la planificación y diseño, fundamentado en reunir conocimiento sobre las propiedades geotécnicas requerida. Para ello, se llevan a cabo estudios de campo con el objetivo de recopilar información geotécnica in situ y recolectar muestras para pruebas de laboratorio. Asimismo, se recolectan datos previos o de proyectos previos que se hayan llevado a cabo en la región, no obstante, esta información será únicamente referencial (Gaviria & Suárez, 2019).

4.2.3 Planteamiento de diseño geotécnico

El planteamiento de diseño geotécnico tiene en consideración las recomendaciones de diseño detalladas en el capítulo 3 y las recomendaciones de diseño de la metodología de Hawley Cuning. Finalmente, se plantean diferentes alternativas de diseño geotécnico.

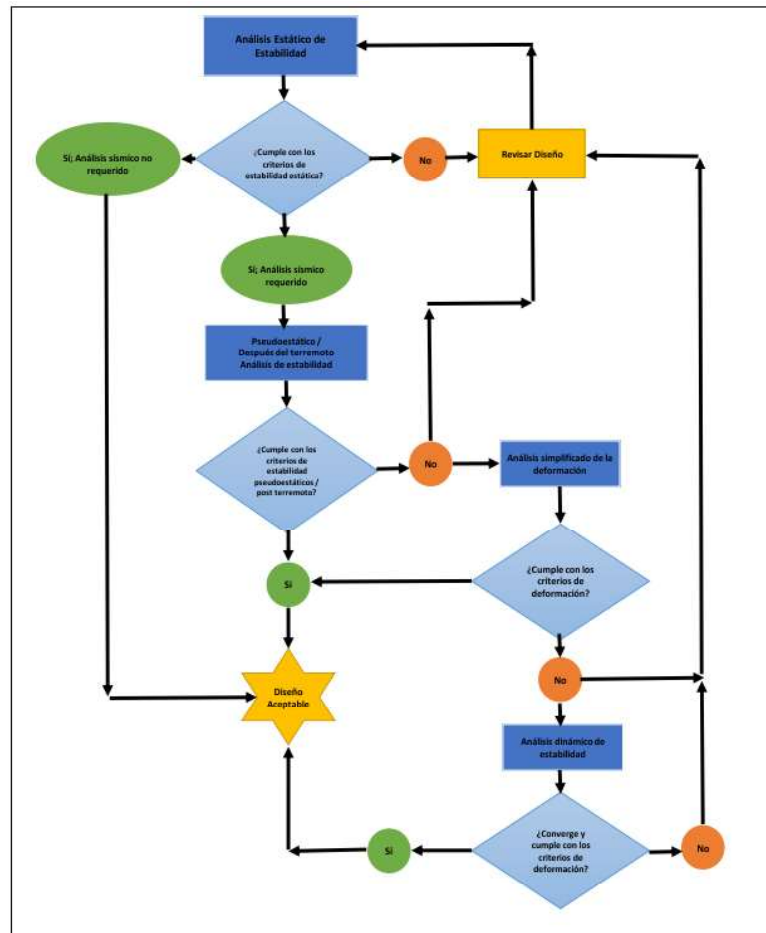
4.2.4 Análisis de estabilidad

El análisis de estabilidad nos permite determinar si la estructura cumple los criterios mínimos de aceptabilidad. En caso, de no cumplir se debe rediseñar. El grado de precisión necesario para los análisis debe tener en cuenta la fase del proyecto, la clasificación de estabilidad y clase de peligro (Gaviria & Suárez, 2019).

Para desarrollar los análisis de estabilidad se seguirá el siguiente diagrama de flujo de la siguiente Figura 13. Asimismo, se indica el paso a paso para el análisis de estabilidad.

Figura 13

Diagrama de flujo del análisis de estabilidad



Nota. Extraído de (Gaviria & Suárez, 2019), traducción de (Hawley & Cuning, 2017).

Paso 1. Determinar los criterios de aceptación, también llamados criterios geotécnicos. Se deberán definir en función de la calidad de la información y la consecuencia de falla del DME.

Paso 2. Efectuar análisis de estabilidad estática y cotejar los hallazgos con los criterios de aceptación definidos para la estructura. Si los resultados no satisfacen los criterios, es necesario un procedimiento iterativo donde se altera el diseño y se llevan a cabo análisis estáticos extra. Este proceso iterativo se realiza hasta alcanzar un diseño que satisface los criterios estáticos.

Paso 3. En el caso de estructuras en sitios donde el riesgo sísmico es bajo y los reguladores no consideran necesario ni exigen un análisis sísmico, si los resultados de los análisis estáticos cumplen con los criterios mínimos de aceptación, es posible que no se necesiten análisis adicionales para respaldar el diseño, finalmente, se acepta el diseño. Sin embargo, los diseños que pasan la prueba estática y deben evaluarse para determinar su estabilidad sísmica se someten luego a un análisis pseudoestático o a un análisis postsismo, o ambos. Para estructuras en lugares con bajo riesgo sísmico y las autoridades no requieren ni demandan un análisis sísmico, si los resultados de los análisis estáticos satisfacen los criterios mínimos de aceptación, es posible que no se requieran más análisis para respaldar el diseño. Finalmente, se acepta el diseño. No obstante, si los diseños que superan el análisis estático y deben ser evaluada su estabilidad sísmica, por tanto, debe realizarse un análisis pseudoestático o a un análisis postsismo, o ambos.

El análisis pseudoestático se realiza mediante la aplicación de una aceleración horizontal constante (y en ciertas situaciones una aceleración vertical constante) a la masa de la estructura, con el objetivo de ilustrar las aceleraciones sísmicas transitorias que pueden ser provocadas durante el sismo de diseño. Se lleva a cabo un análisis estático que incluye estas aceleraciones y se determina un factor de seguridad pseudoestático adecuado. Aunque el análisis pseudoestático se ha empleado por décadas y es el estándar que algunas autoridades emplean para calificar diseños, ciertos expertos optan por el análisis estático postsismo como herramienta de detección inicial para valorar el posible efecto de un sismo en la estabilidad de la estructura.

En este método, los parámetros de resistencia al corte que se aplican a la base de la estructura y, en ciertas situaciones, al material de esta, se disminuyen a sus valores iniciales para considerar el potencial ablandamiento por deformación que podría suceder durante el sismo de diseño. El ablandamiento por deformación puede ser un aspecto crucial en el tratamiento de materiales de base delicados, como arcillas quebradizas con una elevada correlación entre su resistencia máxima y residual. La elección de los parámetros residuales apropiados para utilizar en un análisis postsismo demanda un entendimiento de la historia de deformación y el comportamiento de la resistencia al corte de los materiales de

cimentación. Antes de iniciar este tipo de análisis, es necesario acudir a un experto geotécnico con la experiencia necesaria. Si los hallazgos de los análisis satisfacen los criterios básicos de aceptación, el diseño se considera aceptado y no se necesitan más evaluaciones.

Paso 4. Si los resultados no cumplen con los criterios establecidos, existen dos opciones: ajustar el diseño y someterlo a una nueva evaluación mediante análisis estáticos y pseudoestáticos/postsísmicos, o llevar a cabo un análisis simplificado de deformaciones para estimar la posible deformación inducida por el sismo de diseño. Posteriormente, esta estimación se contrasta con los criterios de deformación máxima permitida.

Para obtener aproximaciones conservadoras del eventual desplazamiento o deformación durante un evento sísmico, se pueden utilizar varios métodos simplificados, como los propuestos por Newmark (1965) y Swaisgood (2003). Para usar estos criterios de aceptación, las estimaciones de deformación obtenidas mediante estos métodos pueden transformarse en una deformación "equivalente". Se consigue esto dividiendo la deformación estimada por la longitud de la ruta crítica de falla y expresando el resultado en porcentaje. Si se desconoce o es complicado establecer la longitud de la superficie de falla crítica, se puede utilizar, como estimación conservadora, la longitud total de la pendiente o la altura del terraplén. La deformación "equivalente" se comparará con la deformación máxima permitida y, si resulta menor a los criterios de aceptación, el diseño será aprobado sin necesidad de análisis adicionales.

Cabe destacar que el método simplificado de Newmark estima el desplazamiento esperado en función de una aceleración de fluencia horizontal correspondiente a un factor de seguridad de 1.00. No obstante, este método puede adaptarse a escenarios donde el factor de seguridad pseudoestático mínimo requerido sea superior a 1.00, redefiniendo la aceleración de fluencia horizontal en función del factor de seguridad mínimo establecido.

Paso 5. Si la deformación estimada supera el máximo permitido, son posibles dos opciones: ajustar el diseño y someterlo a una nueva evaluación mediante análisis estáticos, pseudoestáticos/postsismo y, en caso de ser

necesario, análisis de deformación simplificados. Alternativamente, se puede llevar a cabo un análisis dinámico realizado para calcular la cantidad de deformación/esfuerzo acumulado mediante diversas técnicas de modelado numérico. Considere que es imprescindible la convergencia del modelo numérico antes de poder determinar el desplazamiento acumulado. Un modelo numérico que no sea convergente no cumplirá los criterios de aceptación. Si el análisis dinámico converge y la deformación acumulada satisface los criterios de aceptación, el diseño es aceptado y no se necesitan más evaluaciones.

Paso 6. Si el análisis no alcanza una convergencia, se ajusta el diseño y se vuelve a analizar, iniciando con un análisis estático. Las definiciones de convergencia difieren dependiendo del experto y del método de modelado numérico utilizado. Al emplear un modelo numérico, es necesario definir y proteger la cantidad de pasos temporales y el límite de velocidad, u otros criterios de convergencia.

Paso 7. Es posible que existan situaciones particulares donde los métodos simplificados de análisis pseudoestático/postsismo resulten insuficientes para confirmar el diseño. Estas situaciones pueden abarcar construcciones cimentadas en terrenos que podrían ser licuables o en arcillas saturadas con escasa resistencia al corte sin drenaje. En estas situaciones, podrían requerirse análisis dinámicos y/o análisis estáticos que contemplen evaluaciones de licuefacción y una valoración minuciosa del comportamiento de la resistencia al corte postsismo. Estos análisis deben llevarse a cabo por especialistas geotécnicos con experiencia en la valoración y diseño de estructuras en zonas con alto riesgo sísmico.

4.2.5 Verificación del planteamiento de diseño

En resumen, la verificación de los criterios de aceptabilidad de las alternativas planteadas como diseño geotécnico se realiza en base a los resultados del análisis de estabilidad y deformaciones (en caso se desarrolle). Finalmente, permite definir la propuesta de diseño geotécnico.

4.2.6 Clasificación de estabilidad y clase de peligro del diseño

En resumen, para realizar la clasificación de estabilidad y clase de peligro de la propuesta de diseño geotécnico se debe definir la clasificación de 22 factores que se detallan en la Tabla 1.

4.2.7 Propuesta de diseño geotécnico

En resumen, con base a los resultados de la verificación, la clasificación de estabilidad y clase de peligro, la propuesta de diseño geotécnico para el DME 15 basado en la metodología de Hawley & Cuning (2017) se puede presentar en la siguiente plantilla, véase la siguiente Tabla 12.

Tabla 12

Plantilla para propuesta de diseño geotécnico para el DME 15

Característica	Unidad	Valor
Ancho de banquetta	m	
Altura de banquetta	m	
Taludes locales de banquetta	H: V	
Talud global	H: V	
Ancho máximo	m	
Largo máximo	m	
Altura máxima	m	
Cota máxima	m s.n.m.	
Clasificación de estabilidad	-	
Clase de peligro	-	
Peligro de inestabilidad	-	

Nota. Basado en la guía de presentación de proyectos de botaderos del (Sernageomin, 2023).

Capítulo V. Propuesta de diseño geotécnico de un DME basado en la metodología de Hawley – Cunning

5.1 Caso de estudio

La carretera Oyon Ambo de 150 km y que se divide en tres (03) tramos, surge como una alternativa a la carretera central y ayudará a disminuir los tiempos y gastos en el transporte de personas y productos, además de mejorar las condiciones de movilidad, reforzando la integración vial del centro del territorio peruano, puesto que, conecta a la costa con la sierra y la selva central. Finalmente, beneficiará alrededor de 140 mil habitantes del centro del país. Este es el primer proyecto a gran escala de carretera en Perú diseñado en pavimento rígido. Los desafíos técnicos que afrontará la construcción incluyen los retos geográficos que difícilmente se podrían haberse solventado en asfalto, en condiciones climáticas extremadamente severas y de gran altura (Carreteras Panamericanas, 2022).

Este proyecto de dos (02) carriles, uno de ida hacia Ambo y el otro de retorno a Oyón, está ubicado a 250 km de distancia desde Lima, comenzando en la provincia de Oyón en el km 135 de la carretera nacional PE-18. Es importante destacar que esta región posee una geografía muy accidentada que conlleva a un gran movimiento de tierras y voladura en grandes montañas rocosas para el ensanche de la carretera existente. Adicionalmente, la diferencia de altura de la carretera va de los 3 589 m s.n.m. en el inicio del proyecto, en la parte más baja en Oyón, hasta alcanzar el Abra, la cumbre más alta del proyecto, situada a 4 780 m s.n.m (Carreteras Panamericanas, 2022). Los tramos son las siguientes:

- Tramo I: progresiva 134+978 (Oyon) a 181+170 (Desvío Cerro de Pasco).
- Tramo II: progresiva 181+170 (Dv. CP) a 230+000 (Desvío Chacayan).
- Tramo III: progresiva 230+000 (Dv. Chacayan) a 280+962 (Ambo).

Para el Tramo II de la carretera Oyon Ambo, el consorcio Cesel – Sigt [Cesel - Sigt] (2015) proyectó dieciséis (16) áreas como DME que permitirán depositar el desmonte o material excedente que no se reutilizarán nuevamente en el proyecto, siendo el área del DME 15 el de mayor importancia por su potencial de almacenamiento en el Tramo II (véase la Tabla 13). Por lo anterior, y la disponibilidad de data, se ha seleccionado al DME 15 de la carretera Oyon Ambo como caso de estudio de la presente investigación.

Tabla 13

Depósitos de material excedente proyectados para el tramo II de la carretera Oyon Ambo

Depósito de Material Excedente (DME) proyectados	Ubicación (km) Tramo II – Carretera Oyon Ambo	Capacidad de almacenamiento proyectado (m³)
DME 15	183+450	587 031
DME 16	187+770A	212 137
DME 17	187+770B	392 370
DME 18	190+110	202 340
DME 19	190+200	230 370
DME 20	192+580	174 879
DME 21	196+440	85 661
DME 22	202+880	401 198
DME 23	216+460	14 249
DME 24	216+760	27 687
DME 25	220+200	18 363
DME 26	220+360	108 601
DME 27	220+660	99 731
DME 28	225+180	27 632
DME 29	227+330	13 616
DME 30	228+420	15 528
16 DME	Tramo II	2 611 393

Nota. Elaborado en base a la información de (Cesel-Sigt, 2015).

A continuación, para proponer el diseño geotécnico del DME 15 de la carretera Oyon Ambo basándose en la metodología de Hawley & Cuning (2017) se seguirá el procedimiento de seis (06) pasos descrito en el capítulo 4.2.

5.2 Caracterización del sitio

Siguiendo el procedimiento de la Figura 7, este paso 1 permite conocer el contexto y características generales del área de estudio del DME 15. Asimismo, permite caracterizar el sitio en base a sus estudios básicos de topografía, hidrología, sismicidad, geología y geotecnia. Se desarrolla a continuación.

5.2.1 Ubicación

El DME 15 se ubica en la región de Pasco, provincia de Daniel Alcides Carrión, distrito de Yanahuanca, comunidad de San Antonio de Pomayaros, en el

km 183+450, Tramo II de la carretera que Oyon Ambo. Geográficamente a una altitud de 4 400 m s.n.m en la Intercuenca Alto Huallaga. En Tabla 14 y Tabla 15 se presentan sus características generales y en el plano DME-15-GL-001 del anexo 3 se muestra a detalle la ubicación del DME 15.

Tabla 14

Características generales del DME 15

Aspecto	Descripción
Ubicación política	Distrito de Yanahuanca, Provincia de Daniel Alcides Carrión, Región Pasco
Acceso	A 160 m del eje de la vía
Progresiva	km 183+450
Altitud	4 400 m s.n.m.
Cuenca	Intercuenca Alto Huallaga

Nota. Adaptado de (Cesel-Sigt, 2015a).

Tabla 15

Coordenadas UTM WGS 84, zona 18 sur de los límites aprobados del DME 15

Vértice	Este	Norte
V-1	326 438	8 827 121
V-2	326 427	8 827 182
V-3	326 466	8 827 332
V-4	326 505	8 827 354
V-5	326 607	8 827 335
V-6	326 645	8 827 205
V-7	326 626	8 827 103
V-8	326 538	8 827 099
	Área	4.44 Ha
	Perímetro	795.7 m
	Largo aproximado	250 m
	Ancho aproximado	220 m
	Alto aproximado	40 m

Nota. Adaptado de (Cesel-Sigt, 2015a).

5.2.2 Entorno

El terreno es de propiedad comunal, presenta un suelo franco arenoso y son tierras aptas para pastos. La vegetación es Césped Puna. Su uso actual es de vegetación hidromórfica, es un pajonal de puna con afloramiento rocoso. A 150 m se evidencia la Quebrada Huachos y a 680 m se encuentra la comunidad de Salinera. No se evidencia centros de cultivo cercano, ni afectación a sitios arqueológicos. Además, el 10 de agosto del 2019 el Consorcio Supervisor Oyón Chacayan (en adelante, CSOCH) realizó una visita de reconocimiento al DME 15, y observó que este cuenta con una vía de acceso desde la carretera. Además,

observó que el relieve del sector es suave. También, constató que existía material de tipo topsoil que fue retirado de la fundación y acopiado en el extremo del depósito; así mismo, el depósito se encuentra parcialmente con acopios de desmonte (Véase la Figura 14).

Figura 14

Vista panorámica del área proyectada para el DME 15



Nota. Obtenido de (Consortio Supervisor Oyón Chacayan [CSOCH], 2019a).

5.2.3 Topografía

En esta sección se presenta un resumen del estudio básico de topografía elaborado por el CSOCH (2019b), que comprendió un levantamiento topográfico local del DME 15. Este está ubicado en el km 183+450, a lado izquierdo de la vía en construcción, con un acceso de 160 m lineales. En la siguiente Figura 15 se presenta el límite del área de levantamiento topográfico y el límite máximo del DME 15. En la Tabla 16 se enumera las coordenadas de los vértices de la poligonal del DME 15. Además, las curvas de nivel del levantamiento topográfico del DME 15 se muestra en la siguiente Figura 26 y en el plano DME-15-GL-001 del anexo 3.

La georreferenciación realizada se apoyó en 02 hitos monumentados denominados GPS Máster y GPS 2, a partir del cual se determinaron 06 pares geodésicos de puntos de control (GPS-A a GPS-L), con el fin de tener un control

de cierre cada 10 km a lo largo de la vía. Para la poligonal de apoyo del sector se empleó una estación total LEICA TS 09 de 1", por el método de repetición, en un total de 125 hitos monumentados, visibles entre sí. Para el levantamiento topográfico del sector se empleó una estación total LEICA TS 06 de 5", además de los accesorios y personal correspondiente. Asimismo, se utilizó el método de radiación para la toma de información de campo, tomando en consideración la toma de datos como casas, postes, vías existentes. Véase las coordenadas de la poligonal aprobada del DME 15 en la siguiente Tabla 16.

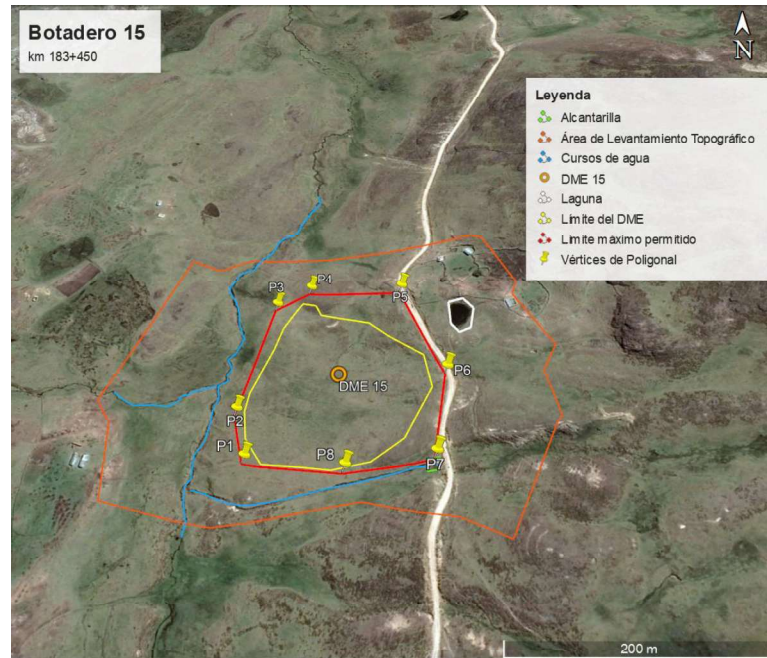
Tabla 16

Coordenadas de la poligonal aprobada del DME 15

Vértice	Este	Norte
P1	326 438	8 827 121
P2	326 427	8 827 182
P3	326 466	8 827 332
P4	326 505	8 827 354
P5	326 607	8 827 335
P6	326 645	8 827 205
P7	326 626	8 827 103
P8	326 538	8 827 099
Área: 4.43 ha		
Perímetro: 795.2 m		
Nota. Adaptado de CSOCH (2019b).		

Figura 15

Área del levantamiento topográfico del DME 15



Nota. Elaborado con el programa Google Earth.

5.2.4 Hidrología

El drenaje de la zona en estudio está constituido por numerosas quebradas que vierten sus aguas al río Yanahuanca, el cual constituye los colectores naturales principales de la zona, formando un drenaje de tipo radial y longitudinal, pertenecientes a la vertiente del atlántico. El río Chaupihuaranga desde sus nacientes hasta la intersección con otros riachuelos, son afluentes del río Huallaga, ofreciendo un pendiente promedio variable de 3.8% en su parte baja, la cual se hace más pronunciada en su parte alta, perteneciente a la zona húmeda de su cuenca. El CSOCH (2019c) empleó la información pluviométrica de la estación Yanahuanca, luego realizó el análisis de datos dudosos, prueba de bondad de ajuste, y aplicó el factor de ajuste por la frecuencia de toma de datos. Finalmente, obtuvo los valores probables de precipitación máxima de 24 horas que se resumen en la Tabla 17, además obtuvo las intensidades máximas que se resumen en la Tabla 18.

Tabla 17*Valores probables de precipitación máxima de 24 h*

T (años)	2	5	10	30	35	71	100	140	175	500
1978 - 2018 (35 datos)	30.7	38.5	43.1	49.3	50.1	53.6	55.3	56.8	57.8	62.4

Nota. Adaptado de (CSOCH, 2019c). Valores según el ajuste de datos de registros históricos a diferentes funciones de probabilidad, considerando el ajuste de frecuencia de observación diaria.

Tabla 18*Intensidades máximas a partir de la P_{máx} de 24 h*

T (años)	2	10	30	71	100	500
1978 - 2018 (35 datos)	1.28	1.80	2.05	2.23	2.30	2.60

Nota. Adaptado de (CSOCH, 2019c).

5.2.5 Sismicidad

Para el área de estudio ubicado en longitud -76.53° y latitud -10.48°, los sistemas de fallas y pliegues que influyen directamente son el Sistema de Fallas de la Cordillera Blanca. Asimismo, se ha determinado que la actividad sísmica está gobernada en gran medida por sismos de subducción de interfase e intraplaca, y en menor medida por sismos continentales o superficiales. El estudio realizado por Cesel-Sigt (2015b) realizó la evaluación probabilística y determinística del peligro sísmico, los resultados se resumen en la siguiente Tabla 19 y Tabla 20. El peligro sísmico de Cesel-Sigt se detalla en el Anexo 1.

Tabla 19

Aceleraciones máximas horizontales para suelos tipo B, C y D empleando el método probabilístico

Tipo	Descripción	Sismo Base de Operación (OBE)	Sismo Máximo Creíble (MCE)
		Periodo de Retorno (Tr) / Aceleración (g)	
		475 años	2 475 años
B	Roca	0.27	0.41
C	Suelo muy denso o roca blanda	0.33	0.54
D	Suelo firme	0.39	0.61

Nota. Adaptado de (Cesel – Sigt, 2015b).

Tabla 20

Aceleraciones horizontales máximas para suelos Tipo B y D empleando el método determinístico

Zona de Estudio	Tipo	Descripción	Sismo de subducción	Aceleración Horizontal Máxima (g) MCE
Carretera Oyón Ambo Tramo II (-76.53°, -10.48°)	B	Roca	Sismos de Interfase	0.20
			Sismos de Intraplaca	0.62
	D	Suelo firme	Sismos de Interfase	0.33
			Sismos de Intraplaca	0.95

Nota. Adaptado de (Cesel – Sigt, 2015b).

5.2.6 Geología

5.2.6.1 Geología regional.

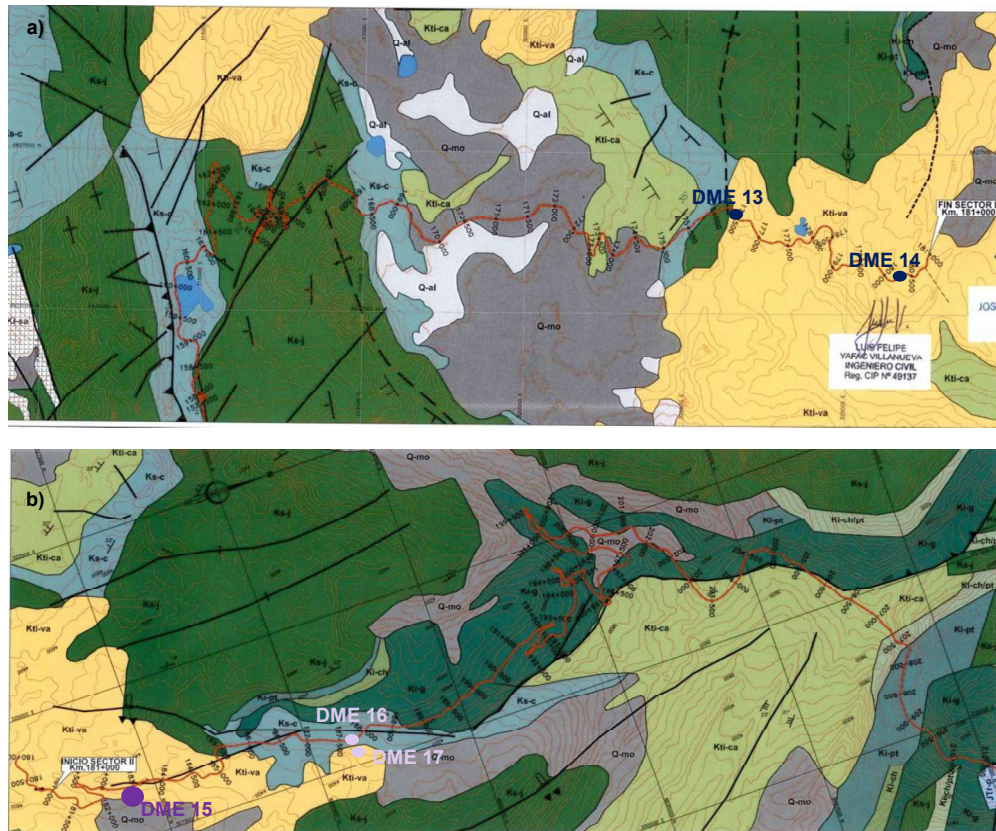
El mapeo geológico regional de la carretera Oyon Ambo fue realizado por el consorcio Cesel – Sigt (2015a). Asimismo, los DME 13 (175+740), DME 14 (180+840), DME 15 (183+450), DME 16 (186+770A) y DME 17 (186+770B) serán los DME que recibirán el material excedente que se genere entre los kilómetros 175 al 185 de la carretera Oyon Ambo (Cesel – Sigt, 2015a). En estos kilómetros se observa regionalmente las siguientes unidades litoestratigráficas:

- Formación Casapalca (Kti-ca)
- Formación Jumasha (Ks-j)
- Formación Volcánico Calipuy (Kti-va)
- Formación Celendín (Ks-c)

Cabe mencionar que, principalmente se observa la formación volcánico Calipuy (Kti-vca) y es allí donde se encuentra el DME 15 (Km. 183 + 500), de la presente investigación, como se muestra en la siguiente Figura 16. La formación volcánico Calipuy (Kti-vca) reposa en discordancia sobre la formación Jumasha y otras unidades plegadas cuya característica litológica de la formación está constituida por tobas y brechas de naturaleza lava andesítica piroclástica, con coloración gris rosado con alternancia de color gris amarillento. Esta formación se presenta en bancos y alternancia compactos formando cornisas y en forma de depósitos andesita tobáceas de consistencia suave. Su edad, no es fácil determinar por falta de fósiles se presume la deposición fue antes del inicio del Terciario (CSOCH, 2019d).

Figura 16

Geología regional de la carretera Oyon Ambo



Nota. Obtenido de (Cesel – Sigt, 2015a). Se observa el DME 15 (Km. 183+500) ubicado en grupo volcánico Calipuy (Kti-ca), asimismo, se muestran el DME 13, DME 14, DME 16 y DME 17. Además, se muestran los kilómetros 175 al 185 de donde se transportará material excedente al DME 15.

5.2.6.2 Geología local.

5.2.6.2.1 Mapeo Geológico de Carretera.

El mapeo geológico local de la carretera Oyon Ambo fue realizado por el consorcio Cesel - Sigt (2015a). Asimismo, los DME 13 (175+740), DME 14 (180+840), DME 15 (183+450), DME 16 (186+770A) y DME 17 (186+770B) recibirán el material excedente que se genere entre los kilómetros 175 al 185 de la carretera Oyon Ambo (Cesel – Sigt, 2015a). En estos kilómetros se observa localmente las siguientes unidades litoestratigráficas:

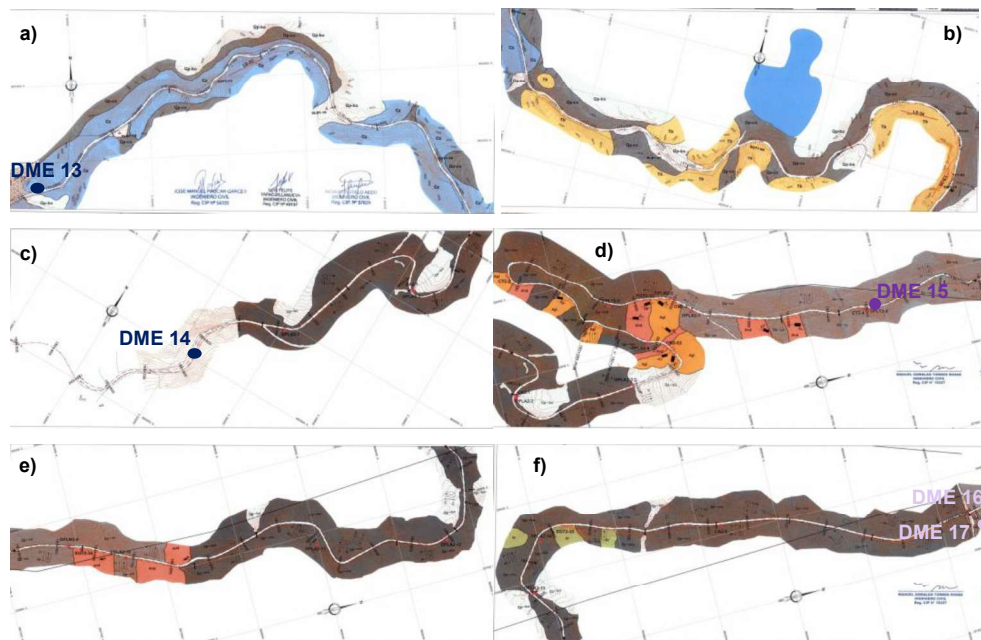
- Depósito Coluvial (Qp-co)
- Depósito Bofedal (Qp-bo)
- Caliza (Cz)
- Tobas (Tb)

- Depósito Morrénico (Qp-mo)
- Aglomerado (Agl)
- Andesita (And)
- Arenisca (Ar)

Cabe mencionar que, en donde se ubica el DME 15 (Km. 183 + 500) se observa la presencia de depósitos coluviales (Qp-co) y andesita (And) como se muestra en la sección d de la siguiente Figura 17.

Figura 17

Geología local de la carretera Oyon Ambo



Nota. Extraído de Cesel - Sigt (2015a). Se observa el DME 15 (Km. 183+500) ubicado en depósitos coluviales (Qp-co) y andesita (And). Además, se muestran los kilómetros 175 al 185 de dónde se transportará material excedente al DME 15.

5.2.6.2.2 Mapeo Geológico del DME 15.

El mapeo geológico local en dónde se ubica el DME 15 fue realizado por el CSOCH (2019d) y se describe a continuación.

A. Morfología

La zona del proyecto se ubica en el sector oriental de la cordillera de los Andes, región puna y quechua, topográficamente el área de estudio se encuentra

en las altiplanicies interandinas en quebrada Huachos de pendiente suave a moderado con colinas alargadas con dirección sur a norte CSOCH (2019d).

Se encuentra a una altitud de 4 400 m s.n.m., está dominada por un paisaje de relieve ondulado, con la presencia de alineamientos de cerros tipo AA que resaltan sobre la altiplanicie en los sectores de cerro Huarmi Huañusca. Posee características climáticas que varían entre 10°C a 0°C caracterizado por presentar un clima frío y dos estaciones del año bien marcadas, una de lluvias entre noviembre-marzo; y estación de estiaje entre abril – octubre, caracterizada por la ausencia de lluvias CSOCH (2019d).

La geomorfología es el resultado de los procesos endógenos, tectónicos, erosivos y geodinámicas responsables del modelado de la superficie de la región, que posteriormente se produjeron etapas de erosión en el Plio - Pleistoceno al Neógeno tardío. Todos estos eventos produjeron la erosión completa de las secuencias de las formaciones Cretáceas y Terciarias en la quebrada Huachos y el resultado es el modelado actual de la superficie del terreno CSOCH (2019d).

B. Litoestratigrafía

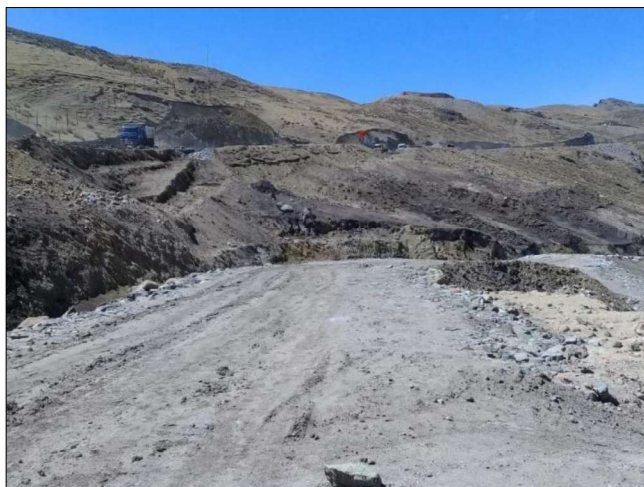
En el área de evaluación la roca volcánica Calipuy aflora a pocos metros del contacto con las calizas Jumasha (Cz), caracterizado por el afloramiento de Andesita (And) de textura porfírica, traquita y traquiandesitas con intercalación de capas lenticulares de brechas y aglomerados tobáceos, los componentes de las brechas son fragmentos de roca volcánica angulosos a subredondeados y de dimensiones muy variadas con tonos de coloración de gris oscuro con tonalidades violáceas, rojizas, verdosas y marrones. En la parte inferior, zona del depósito, afloran tobas andesíticas totalmente alterados se observa que el intemperismo es relativamente profundo hasta el punto de que prácticamente no se observa afloramiento fresco debido a la presencia de agua que filtra de puquiales de parte alta de la quebrada, su textura se encuentra totalmente obliterada de color morado a violáceo con patinas de óxido color amarillento a verdusco (Véase la Figura 20).

Los bancos de rocas están depositados como derrames lávicos levemente horizontales o suavemente inclinados y están cubiertos por depósitos morrénicos provenientes de la glaciación pleistocénica y suprayace a calizas de la formación

Jumasha. El volcánico Calipuy tentativamente se le asigna la edad de Terciario inferior (paleoceno-oligoceno). Véase la Figura 18 y la Figura 19 CSOCH (2019d).

Figura 18

Sector del DME 15 debajo de la carretera en roca volcánica meteorizada



Nota. Obtenido de (CSOCH, 2019d).

Figura 19

Vista de roca andesita en proceso de alteración por intemperismo



Nota. Obtenido de (CSOCH, 2019d).

Figura 20

Roca andesita muy alterada con presencia de óxidos por descomposición de minerales máficos y feldespatos



Nota. Obtenido de (CSOCH, 2019d).

C. Componente edáfico

Estos depósitos conocidos como material cuaternario mayormente provienen de la desintegración de rocas preexistente como rocas andesitas, traquiandesitas rocas que han sido alterados por la meteorización hasta transformarlas prácticamente en limos. También, arenas de grano fino, conservando solamente la textura de los pórfidos, por la descomposición fisicoquímico en los últimos miles de años, los cuales han sido transportados o no y en general se encuentran sin consolidar o poco consolidadas. En la zona de estudio se encuentran los siguientes depósitos:

i. Depósitos residuales (Q-re)

Los depósitos o suelos residuales son los que se forman en el sitio por procesos de meteorización física y química (movimiento del agua intersticial) y se desarrollan principalmente, por el clima, la lluvia, los regímenes de temperatura, la litología del material de roca (saprolito) están compuestos por arenas, limos y arcillas, esporádicamente presentan gravas. Estos se encuentran poco consolidados, cubriendo, los afloramientos rocosos con una capa generalmente delgada, o puede llegar desde unos pocos metros de espesor a profundidades no determinadas. Desde el punto de vista geotécnico este tipo de depósito presentan una estabilidad moderada a buena, sobre todo cuando son generados de rocas

volcánicas sin embargo al ser saturados por agua son los más sensibles a la ocurrencia de deslizamientos superficiales.

ii. Depósitos de bofedal (Q-bo)

Estos depósitos pueden ser temporales o permanentes en la zona, se observa en la parte baja de la carretera en las depresiones con zonas anegadas, donde se encuentran depósitos de arenas limosas con arcillosas con materia vegetal descompuesta formando zonas pantanosas en época de lluvia susceptible a remoción.

iii. Depósitos aluviales (Q-al)

Considerados como suelos friccionantes presentado por gravas arcillosas con cantos y bolos en porcentajes de 10% los fragmentos son rocas de andesita, de color gris morado, de formas subangulosos a subredondeados de compacidad baja a media. También, se encontró depósitos de suelos cohesivos consiste en limo-arcillosos con gravas y cantos con gravas y cantos en un 5% con baja plasticidad húmedo (18%).

iv. Depósitos fluvio glaciares (Q-fg)

Con esta denominación, se describe una colina de depósitos de material que se encuentran en la parte Norte del depósito de desmonte. Están constituidos por gravas, arenas, limos pobremente graduada de color gris claro, marrón bloques < 50 cm de diámetro con fragmentos sub angulosos a sub redondeados, y los fragmentos son de composición andesita en matriz limo arcilloso y está cubierto por material residual y pastos naturales.

D. Geoestructura

En el sitio donde se ubica el DME 15 y a los alrededores de la zona no se observan indicios de estructuras tectónicas mayores. Por las condiciones del relieve predominantemente semi- plano, se han registrado plegamientos suaves y ondulaciones de los pseudo estratos volcánicos. Observando en el área un ligero plegamiento de los pseudo estratos con inflexión hacia S80°E con buzamiento de 20°SO. No se puede establecer enfáticamente las fallas regionales que se encuentran en la zona, posiblemente están cubiertos por acumulación de depósitos sueltos. Las fallas locales más representativas la constituyen el patrón

de fracturamiento o diaclasamiento de la roca, por efectos debidos a la descompresión del macizo y la característica que presentan las rocas volcánicas que son producidos por flujos de lava, que al enfriarse se forman alineamientos con un patrón preestablecido de fracturas y juntas con orientaciones preferenciales, hasta en tres sistemas conjugados; además en profundidad, tienden a cerrarse hasta presentar una forma masiva. No fue observada ninguna evidencia neotectónica, es decir se descarta la presencia de fallas activas.

Se realizaron dos (02) estaciones geomecánicas que consisten en la caracterización y mapeo de fallas, familias de fracturas y/o discontinuidades presentes en el macizo rocoso. Esta evaluación se realizó siguiendo la clasificación geomecánica de Bieniawski de 1989. Debido a que dentro del área del proyecto no se encontró un afloramiento rocoso, se realizaron las estaciones geomecánicas en una zona aledaña al proyecto que presenta características similares al macizo existente en el área del proyecto, específicamente en el corte de la carretera. En la siguiente Tabla 21, se muestra la ubicación de las estaciones geomecánicas.

Tabla 21

Clasificación geomecánica del macizo rocoso

Ubicación	Valorización											Litología	Calidad	Clase
	Resistencia	RQD	Separación	Longitud	Abertura	Rugosidad	Relleno	Alteración	Agua	RMR	Corrección			
DME 15	12	13	15	5	1	3	6	3	15	73	72	Andesita	Buena	II

Nota. Obtenido de (CSOCH, 2019d).

En la siguiente Tabla 22, se presentan las familias de discontinuidades mapeadas en zonas aledañas al proyecto con características similares al macizo rocoso.

Tabla 22*Resumen de las discontinuidades*

Rumbo	Buzamiento	Tipo de Fractura
S80°E	20°SE	Suelo estrato
E-O	50°N	Fractura
N55°E	84°NO	Fractura
N70°E	60°NE	Fractura
N60°O	63°NO	Fractura
N15°E	85°SE	Fractura
N20°E	80°NO	Fractura
N10°E	62°NO	Fractura

Nota. Obtenido de (CSOCH, 2019d).

E. Geodinámica externa

En el área de estudio no se ha observado evidencias mayores que indiquen la ocurrencia de fenómenos de geodinámica externa. De acuerdo con sus características morfológicas, los fenómenos geodinámicos, que tendrían relación a construcción del depósito son los generados por los agentes pluviales, las fuertes variaciones de temperatura, la escorrentía de las lluvias genera procesos erosivos y arrastre de sólidos por las quebradas y laderas. En el área del depósito se identificó manifestaciones de aguas subterráneas que tendrían impacto significativo con la construcción (Ver Figura 21). En las laderas de los cerros existen afloramientos puntuales de puquiales con escaso caudal de aguas subterráneas.

Figura 21*Vista de talud de deslizamiento reciente en zona del depósito**Nota.* Extraído de (CSOCH, 2019d).

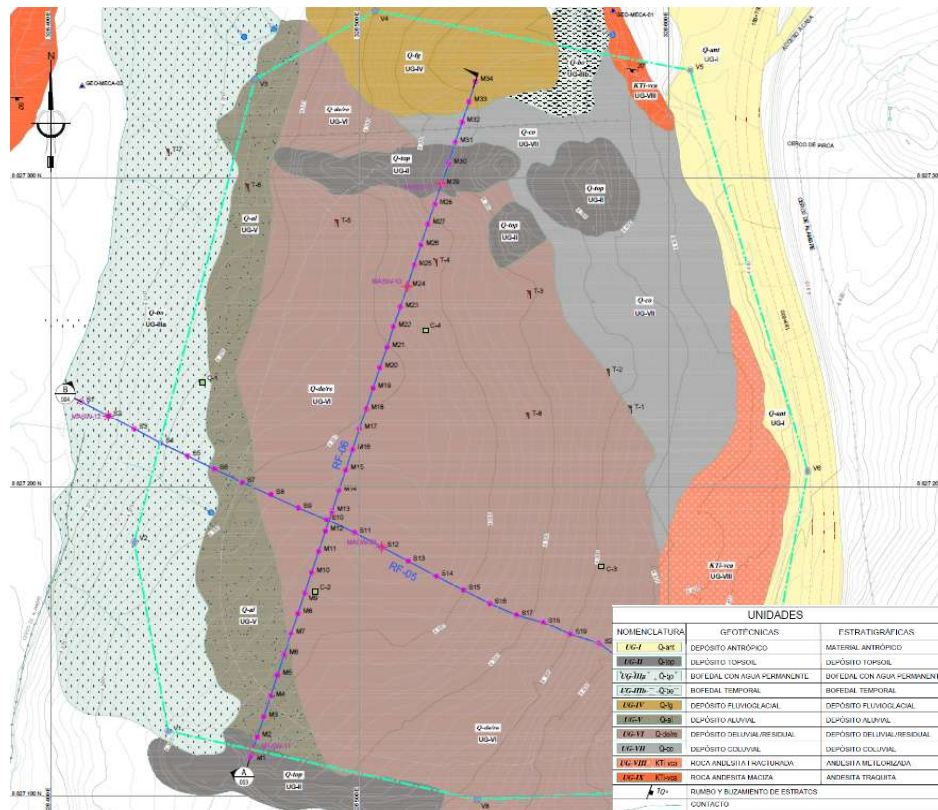
Finalmente, en la siguiente Figura 22 se muestran las unidades estratigráficas identificadas en el mapeo geológico realizado por el CSOCH (2019d), las cuales fueron:

- Depósito Coluvial (Q-co)
- Depósito Fluvioglacial (Q-fg)
- Depósito deluvial/residual (Q-de/re)
- Depósito Aluvial (Q-al)
- Depósito Bofedal (Q-bo)
- Depósito Topsoil (Q-top)
- Depósito Antrópico (Q-ant)
- Roca Andesita (Kti-vca)

Ver a detalle en el plano DME-15-GG-002 del anexo 3 y en el capítulo de geología del Anexo 1.

Figura 22

Vista en planta de las unidades geotécnica del área del DME 15



Nota. Elaborado en base a la información del (CSOCH, 2019d).

5.2.7 Geotecnia

El CSOCH (2019d) realizó investigaciones geotécnicas que abarcaron la excavación de calicatas, trincheras, ensayos de permeabilidad y de densidad in situ y ensayos geofísicos (líneas de refracción sísmica y MASW) en el área del DME 15. Además, se tomaron muestras representativas de los diferentes materiales involucrados en el área de estudio para realizar ensayos estándar y ensayos especiales. Cabe mencionar que también realizaron ensayos en el material de desmonte. Las cantidades se resumen en la Tabla 23, Tabla 24, Tabla 25 y Tabla 26. En la siguiente Figura 23 se muestra las investigaciones geotécnicas ejecutadas en el DME 15 y se detalla en el plano DME-15-GG-001 del anexo 3.

Tabla 23

Investigaciones geotécnicas de campo ejecutadas en el área del DME 15

ID	Descripción	Cantidad
1	Calicatas	04
2	Trincheras	08
3	Densidad in situ	01
4	Permeabilidad in situ	01
5	Refracción sísmica	454 m
6	MASW	05

Nota. Elaborado en base a la información del (CSOCH, 2019d).

Tabla 24

Ensayos de laboratorio en muestras de suelos de la fundación del DME 15

ID	Descripción	Cantidad
1	Análisis granulométrico por tamizado	02
2	Límites de atterberg	02
3	Clasificación SUCS	02
4	Corte directo	01
5	Propiedades físicas de la roca	01
6	Comprensión triaxial de la roca	01

Nota. Elaborado en base a la información del (CSOCH, 2019d).

Tabla 25

Investigaciones geotécnicas de campo ejecutadas en el material de desmonte

ID	Descripción	Cantidad
1	Macrogranulometría	03
2	Permeabilidad in situ	03

Nota. Elaborado en base a la información del (CSOCH, 2019d).

Tabla 26

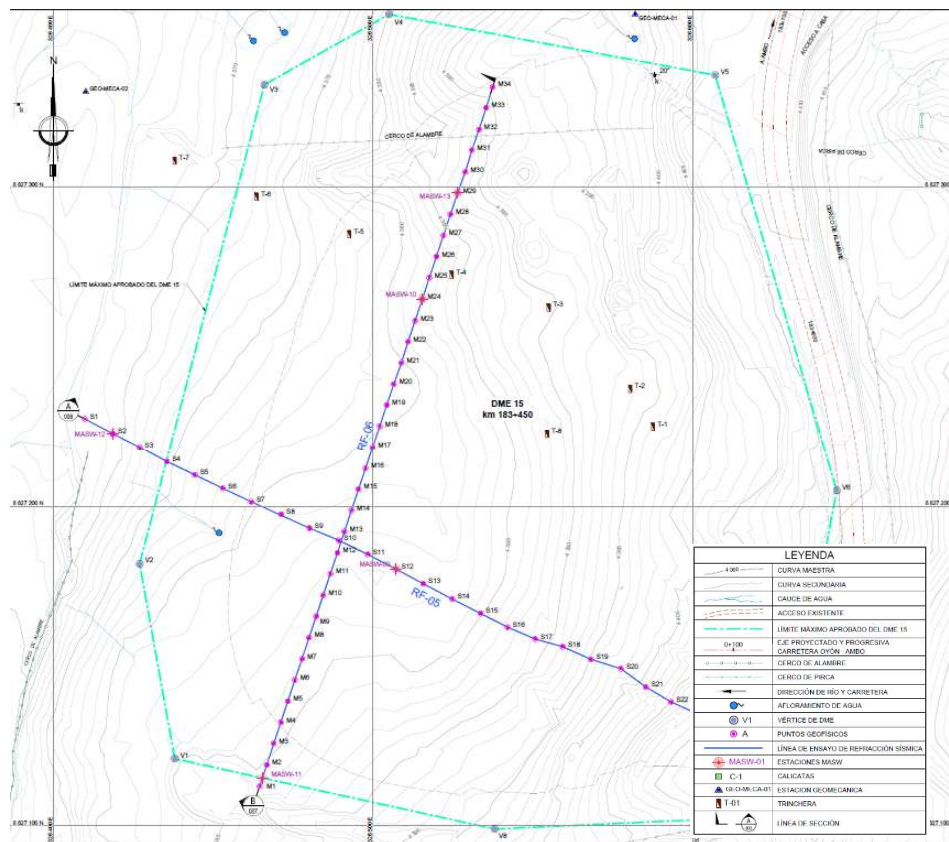
Ensayos de laboratorio ejecutados en muestras de desmonte

ID	Descripción	Cantidad
1	Análisis granulométrico por tamizado	03
2	Preparación para curvas homotéticas	03
3	Ensayos de corte directo	03

Nota. Elaborado en base a la información del (CSOCH, 2019d).

Figura 23

Vista en planta de las investigaciones geotécnicas ejecutadas en el DME 15

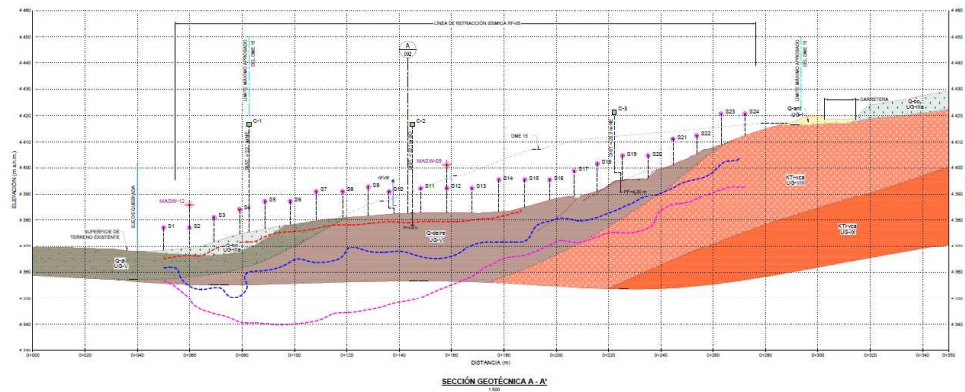


Nota. Elaborado en base a la información del (CSOCH, 2019d).

Asimismo, en base a la información geológica (Figura 22) y geotécnica (Figura 23) disponible se desarrollaron secciones geotécnicas transversal A-A y longitudinal B-B, las cuales se muestran en las siguientes Figura 24 y Figura 25 y se detallan en los planos DME-15-GG-003 y DME-15-GG-004 respectivamente del anexo 3.

Figura 24

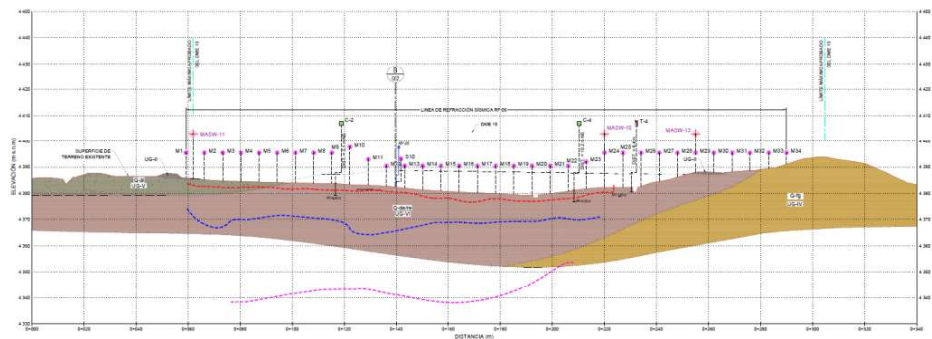
Sección geotécnica A-A de la fundación del DME 15



Nota. Elaborado en base a la información del (CSOCH, 2019d).

Figura 25

Sección geotécnica B-B de la fundación del DME 15



Nota. Elaborado en base a la información del (CSOCH, 2019d).

5.3 Caracterización geotécnica de materiales

Siguiendo el procedimiento de la Figura 8, este paso 2 permite realizar la caracterización geotécnica de los materiales con la finalidad de conocer las propiedades físicas y de resistencia de los estratos de fundación y del desmante que conforma el DME 15, en base a la información recopilada de las investigaciones geotécnicas de campo, la data de los ensayos de laboratorio y el estudio geológico realizados por el CSOCH (2019d) y referencias bibliográficas afines. Finalmente, se identificaron diez (10) unidades geotécnicas no susceptibles a la licuación (CSOCH, 2019d), las cuales se resumen a continuación y se desarrolla en el Anexo 1.

5.3.1 Material antrópico

Se evidenció material de desmonte esparcido en el área del DME 15 y es un material producto de la actividad humana, generado por corte y relleno de la construcción de la carretera Oyon Ambo. Este material está constituido principalmente por suelos muy blandos tipo arcillas y arenas limosas, húmedo. El espesor es de hasta 2.50 m, en promedio 1.30 m. Asimismo, se debe retirar el material antrópico de la fundación del DME a fin de cimentar la estructura en material competente. Además, se considera material antrópico también al que conforma la subrasante, subbase, base y carpeta asfáltica de la carretera Oyon Ambo.

Finalmente, para el material antrópico se ha considerado emplear de manera conservadora y en base a la bibliografía una densidad de 16 kN/m^3 , y como parámetros de resistencia efectivos una cohesión de 0 kN/m^2 y un ángulo de fricción de 16° .

5.3.2 Topsoil

Es un material de naturaleza orgánica hallada superficialmente o debajo del material antrópico. Tiene un espesor de hasta 0.90 m, en promedio 0.55 m. Asimismo, se debe retirar el material de topsoil de la fundación del DME a fin de cimentar la estructura en material competente, y deberá ser adecuadamente almacenado a fin de emplearla en actividades de remediación, es decir, en el cierre del DME.

Finalmente, para el material de topsoil se ha considerado emplear de manera conservadora y en base a la bibliografía una densidad de 15 kN/m^3 , y como parámetros de resistencia efectivos una cohesión de 5 kN/m^2 y ángulo de fricción de 16° .

5.3.3 Bofedal con agua permanente

Este suelo es permanente en la zona, se observa en la parte baja de la carretera en las depresiones con zonas anegadas. Corresponde a arenas limosas con arcillas y materia vegetal formando zonas pantanosas que en época de lluvia es susceptible a remoción. De densidad suelta a medianamente densa (CSOCH, 2019d).

Finalmente, para el material de bofedal de agua permanente se ha considerado emplear de manera conservadora y en base a la bibliografía una densidad de 17 kN/m^3 , y como parámetros de resistencia efectivos una cohesión de 5 kN/m^2 y ángulo de fricción de 20° .

5.3.4 Bofedal temporal

Este material se observa de manera temporal en la zona en un área pequeña, ubicado en la parte derecha de la zona del DME.

Finalmente, para el bofedal temporal se ha considerado emplear de manera conservadora y en base a la bibliografía una densidad de 17 kN/m^3 , y como parámetros de resistencia efectivos una cohesión de 5 kN/m^2 y ángulo de fricción de 20° .

5.3.5 Suelo Fluvioglacial

Se refiere al material acarreado por el medio fluvial (agua) y glaciario (hielo), que se deposita en forma de planicies con rasgos de erosión fluvial derivados del deshielo, y que está vinculado con el proceso de erosión provocado por el levantamiento andino y las distintas fases de glaciación. Están formados por gravas, arenas y limos mal distribuidos en horizontes con intercalaciones de arena mal escogida de color gris claro de densidad media. Presentan bloques y bolones con fragmentos de forma subangular a subredondeados, grava gruesa, algo consolidada. Los fragmentos son de composición andesita en matriz de limo arcilloso y están revestidos por material residual y pastizales naturales. Se puede apreciar en el lado derecho del área del depósito (CSOCH, 2019d).

Finalmente, para el suelo fluvioglacial se ha considerado emplear de manera conservadora y en base a la bibliografía una densidad de 18 kN/m^3 , y como parámetros de resistencia efectivos una cohesión de 0 kN/m^2 y ángulo de fricción de 30° .

5.3.6 Suelo Aluvial

Este suelo se encuentra en la parte baja del área del depósito. Los suelos aluviales representan depósitos no consolidados. Están formados por los materiales arrastrados por los ríos y depositados durante su travesía, creando los

lechos, terrazas que se han originado a ambos costados de la quebrada Huachos, las cuales señalan las variaciones en el flujo y la migración lateral, así como llanuras de inundación de espesores variados (CSOCH, 2019d).

Son suelos friccionantes conformado por gravas arcillosas con cantos y bolones en porcentajes de 10%, son muy anisotrópicos en su distribución; asimismo, los fragmentos son rocas de andesita, de color gris morado, de formas subangulosos a subredondeados de compacidad baja a media. La resistencia de estos materiales es baja.

Finalmente, para el depósito aluvial se ha considerado emplear de manera conservadora y en base a referencias de ensayos laboratorio realizados en el suelo aluvial identificado en DME cercanos (por ejemplo, el DME 16C) una densidad de 17 kN/m^3 , y como parámetros de resistencia efectivos una cohesión de 0 kN/m^2 y ángulo de fricción de 32° .

5.3.7 Suelo Residual

Los suelos residuales son los que se forman en el sitio por procesos de meteorización física y química (movimiento del agua intersticial) y se desarrollan principalmente, por el clima, la lluvia, los regímenes de temperatura, la litología del material de roca (saprolito) están compuestos por arenas, limos y arcillas, esporádicamente presentan gravas. Estos se encuentran poco consolidados, cubriendo los afloramientos rocosos con una capa generalmente delgada, o puede llegar desde unos pocos metros de espesor a profundidades no determinadas. Desde el punto de vista geotécnico este tipo de depósito presentan una estabilidad moderada a buena, sobre todo cuando son generados de rocas volcánicas; sin embargo, al ser saturados por agua son los más sensibles a la ocurrencia de deslizamientos superficiales. Se observa a lo largo de toda la zona del depósito (CSOCH, 2019d).

En la fundación de la zona del depósito, el suelo residual aparece superficialmente o a los 2.50 m (es variable en cada sector) y está conformado por arena limosa, SM según la clasificación SUCS, de plasticidad baja a media con LL entre 24 a 30 e IP entre 3 a 4, medianamente densa a suelta, húmeda entre 22% a 25%, color verde grisáceo, de naturaleza heterogénea con una

distribución gravas de 2%, arenas entre 55% a 69% y finos entre 28% a 42%. En base a los datos de la geofísica, el contacto de suelo-roca está a una profundidad de 8.00 m. aproximadamente. Se realizó también un ensayo de densidad in situ obteniéndose un resultado de 1.627 g/cm^3 y una densidad seca de 1.334 g/cm^3 . Así mismo, se realizaron ensayos de permeabilidad in situ empleando el método de carga variable de (Lambe y Whitman, 1960), obteniéndose una conductividad hidráulica de $2.9 \times 10^{-4} \text{ cm/s}$ (permeabilidad media). El suelo tiene un comportamiento principalmente drenante.

Asimismo, se seleccionaron muestras de suelo alteradas y se realizó un ensayo de corte directo. La muestra fue remoldeado empleando la densidad y humedad natural del suelo. Se obtuvo una cohesión de 0.01 kg/cm^2 y ángulo de fricción de 32.2° . Finalmente, en base al ensayo de corte directo y la densidad in situ, para el suelo residual se ha considerado una densidad de 16.3 kN/m^3 , y como parámetros de resistencia efectivos una cohesión de 0 kN/m^2 y ángulo de fricción de 32.2° .

5.3.8 Suelo Coluvial

Los suelos coluviales son acumulaciones de depósitos sueltos compuestos por detritos de rocas de basamento. Están compuestos por una mezcla heterogénea de cantos angulosos de rocas calizas en una matriz limo arcillosa, no presentan estratificación. Los depósitos se observan en el pie de montes inclinados a ambos flancos de la quebrada Huacho y se observa en la parte superior derecha de la zona del depósito.

Finalmente, para el depósito aluvial se ha considerado emplear de manera conservadora y en base a referencias de ensayos laboratorio realizados en el suelo coluvial identificado en DME cercanos (por ejemplo, el DME 16C) una densidad de 18 kN/m^3 , y como parámetros de resistencia efectivos una cohesión de 10 kN/m^2 y ángulo de fricción de 24° .

5.3.9 Roca Andesita

La roca de fundación o basamento rocoso está conformada por roca ígnea volcánica de tipo Andesita hallado durante el mapeo geológico geomecánico realizado en el área donde se proyecta el DME 15, de acuerdo con los ensayos

presenta un peso específico de 23.6 kN/m^3 , resistencia a la compresión uniaxial de 43.5 Mpa , calidad buena tipo II con un RMR corregido de 72. Además, según la geofísica desde la profundidad de 8.00 m a 13.00 m una roca andesita fracturada a muy fracturada (UG VIII), y a partir de los 13.00 m en adelante roca andesita maciza (UG IX). Asimismo, en base a las propiedades índice de la roca intacta y al RMR 89 se han obtenido mediante el software Roclab de Rocscience los parámetros de Hoek and Brown de ambos tipos de calidad del macizo rocoso encontrados.

Finalmente, para la roca Andesita Fracturada se ha considerado emplear una densidad de 23.6 kN/m^3 , y como parámetros de resistencia efectivos un ángulo de fricción de 58° y una cohesión de 700 kN/m^2 ; y para la Roca Andesita Maciza se ha considerado emplear una densidad de 23.6 kN/m^3 , y como parámetros de resistencia efectivos un ángulo de fricción de 38° y una cohesión de 230 kN/m^2 .

5.3.10 Desmante

De acuerdo con el consorcio Cesel - Sigt (2015a), los DME 13 (175+740), DME 14 (180+840), DME 15 (183+450), DME 16 (186+770A) y DME 17 (186+770B) recibirán el material excedente (anteriormente llamado desmante) que se genere entre los kilómetros 175 al 185 de la carretera Oyon Ambo. En estos kilómetros se observa localmente las siguientes unidades litoestratigráficas:

- Depósito Coluvial (Qp-co)
- Depósito Bofedal (Qp-bo)
- Caliza (Cz)
- Tobas (Tb)
- Depósito Morrénico (Qp-mo)
- Aglomerado (Agl)
- Andesita (And)
- Arenisca (Ar)

Asimismo, de acuerdo con las Especificaciones Técnicas del Estudio Definitivo de la Carretera Oyon Ambo elaborado por Cesel – Sigt (2015), el método de excavación de estas unidades litoestratigráficas se definirá según el tipo de material, como se resume en la siguiente Tabla 27.

Tabla 27*Método de excavación según el material excavado de la carretera Oyon Ambo*

Partida	Descripción	Tipo de Material Excavado	Método de Excavación
205.A	Excavación en explanaciones en material común	Suelos granulares, arcillosos	Excavación directa con maquinaria
205.B	Excavación en explanaciones en roca suelta	Roca fracturada, regular a muy mala, esquisto, arenisca	Excavación mecánica con asistencia en roca suelta, voladura puntual o no necesario
205.C	Excavación en explanaciones en roca fija	Roca buena, masiva, compacta (típicamente $RMR \geq 60$)	Voladura controlada o martillos hidráulicos + excavación posterior
206.A	Remoción de derrumbes	Material mixto, inestable	Limpieza manual y mecánica en zona inestable

Nota. Basado en el expediente definitivo de (Cesel – Sigt, 2015).

1. El $RMR \geq 60$ para considerar voladura es una guía de campo (Bieniawski, 1989), no una norma rígida. Por ejemplo, una roca con RMR de 55 puede necesitar voladura si tiene alta resistencia uniaxial o una roca con RMR 65 muy fracturada puede excavarse con martillos hidráulicos.

De estas actividades de excavación se puede generar material excedente que es transportado al depósito de material excedente (DME). Asimismo, de acuerdo con las especificaciones técnicas del estudio definitivo de la carretera Oyon Ambo elaborado por Cesel – Sigt (2015) el proceso de transporte es el siguiente:

A. Carga del material

Se verifica que el material es excedente, es decir, no aprovechable en el proyecto, y se procede a cargar el material como se menciona en la siguiente Tabla 28 (Cesel – Sigt, 2015).

Tabla 28*Equipo de carguío según el material excavado de la carretera Oyon Ambo*

Partida	Tipo de Material Excavado	Equipos de Carguío
205.A	Suelos granulares, arcillosos	Cargador frontal
205.B	Roca fracturada, esquisto, arenisca	Retroexcavadora, cargador frontal
205.C	Roca masiva, compacta	Cargador frontal
206.A	Derrumbes, material mixto, inestable	Retroexcavadora, cuadrilla manual

Nota. Basado en el expediente definitivo de (Cesel – Sigt, 2015).

1. El material de derrumbes debe ser cargado rápido para liberar la vía.
2. La partida 700.G detalla el Transporte de Eliminación de Material a DME para distancias ≤ 1 km
3. La partida 700.H detalla el Transporte de Eliminación de Material a DME para distancias > 1 km
4. La unidad de medida es el metro cúbico kilómetro (m³-km), que indica que el cálculo del costo considera tanto el volumen del material como la distancia transportada.

B. Transporte

El material excedente puede mezclarse, y se usan volquetes típicamente de 20 m³ de capacidad, dependiendo del acceso, para transportarlo al DME (Cesel – Sigt, 2015).

C. Descarga y disposición en DME

El material excedente es descargado por capas de aproximadamente 50 cm en el DME. Posteriormente, un cargador frontal distribuye el material en capas de espesor uniforme y se compacta con al menos cuatro (04) pasadas de rodillo (Cesel – Sigt, 2015). El detalle se menciona en el subcapítulo 3.4.

Por lo anterior, con el fin de caracterizar el comportamiento geotécnico del desmonte que se va a depositar en el DME 15 (183+450), y dado que este aún es un área proyectada, se consideró evaluar el material de desmonte de un DME existente que reciba la misma fuente de material excedente. En este caso, se seleccionó el DME 13 (175+740) de la carretera Oyon Ambo y se realizaron ensayos de campo in situ y toma de muestras representativas para ensayos de laboratorio. En base a estos resultados, el material se clasifica como suelo y roca. Los suelos que predominan, son de origen residual, coluvial y deluviales, y las

rocas que predominan son de origen sedimentarias tipo caliza y volcánicas tipo andesitas, como se observó en la geología local de la Figura 17.

Asimismo, de acuerdo con los ensayos de laboratorio geoquímico, el material de desmonte no es generador de drenaje ácido (NAG) (Cesel-Sigt, 2015). Por ello, el diseño de cierre como concepto, podría consistir en la colocación de una cobertura simple de tierra vegetal con cultivo de la zona tipo Champa.

En resumen, en base a todos los ensayos de campo y laboratorio, el desmonte es un material granular grueso con tamaño máximo nominal de 26", y de clasificación SUCS de sus partículas <3" como grava arcillosa (GC). Asimismo, en la siguiente Tabla 29 se resumen las propiedades físicas y de resistencia del desmonte.

Tabla 29
Parámetros geotécnicos del desmonte

Propiedad Geotécnica	Unidad	Rango		
		Límite Inferior	Límite Superior	Promedio
Distribución granulométrica				
Bloques	%	11	58	35
Bolones	%	10	33	21
Gravas	%	8	25	16
Arenas	%	8	20	12
Finos	%	10	22	16
Límites de Atterberg				
Límite Líquido	%	29	51	37
Índice de plasticidad	%	11	21	15
Propiedades físicas				
Humedad	%	3	18	9
Gravedad específica	-	2.64	2.71	2.69
Densidad in situ ⁽¹⁾	kN/m ³	20.2	23.4	22.4
Permeabilidad	cm/s	1.04E-07	8.10E-03	2.00E-04
Angulo de reposo in situ ⁽²⁾	°	38.4	48.6	42
Propiedades de resistencia ⁽³⁾				
Cohesión (c')	kN/m ²	0	41	27
Ángulo de fricción (φ')	°	32.0	44.5	38

Nota. Elaborado con base en la información de (CSOCH, 2019d).

1. Se ha considerado los ensayos de densidad in situ con el método del reemplazo de agua en los DME 13 y DME 19, cuyo material de desmonte es del mismo origen que para el DME 15.
2. Se conformaron conos de material de desmonte y se midió el ángulo de reposo del material.
3. El tamaño máximo de partícula ensayado es de 1", dado la limitación del molde de los ensayos, sin embargo, el T_{máx} del desmonte es de hasta 26".

Finalmente, para el desmonte se ha considerado una densidad promedio de 22.4 kN/m³, y como parámetros de resistencia efectivos una cohesión efectiva promedio de 27 kN/m³ y un ángulo de fricción promedio de 38°.

5.3.11 Resumen de parámetros geotécnicos

A continuación, en la siguiente Tabla 30 se resume los parámetros de resistencia de las unidades geotécnicas del DME 15.

Tabla 30

Resumen de parámetros geotécnicos del DME 15

Unidad Geotécnica	Material	Peso Unitario (kN/m ³)	Parámetros de resistencia	
			Cohesión c' (kN/m ²)	Ángulo de Fricción ϕ' (°)
I	Suelo Antrópico ¹	16	0	16
II	Suelo Topsoil ¹	15	5	16
IIIa	Bofedal con agua permanente ¹	17	5	20
IIIb	Bofedal temporal ¹	17	5	20
IV	Suelo Fluvioglacial ¹	18	0	30
V	Suelo Aluvial ¹	17	0	32
VI	Suelo Residual ²	16.3	0	32.2
VII	Suelo Coluvial ¹	18	10	24
VIII	Roca Andesita Fracturada ²	23.6	38	230
IX	Roca Andesita Maciza ²	23.6	58	700
X	Desmonte ²	22.4	27	38

Nota. Elaboración propia, con base en la información de (CSOCH, 2019d).

1. En base a bibliografía relacionada.
2. Sustentado en base a ensayos de campo y laboratorio.
3. La caracterización geotécnica realizada se limita a la cantidad de información disponible, se recomienda para los siguientes DME de la carretera Oyon Ambo desarrollar mayor cantidad de ensayos de campo como calicatas, geofísica, perforaciones, ensayos triaxiales, etc de acuerdo con el nivel de riesgo que represente el DME.

5.4 Planteamiento de diseño geotécnico

Siguiendo el procedimiento de la Figura 9, este paso 3 permite realizar el planteamiento de alternativas de diseño geotécnico para el DME 15. A continuación se desarrolla.

5.4.1 Superficie topográfica

El planteamiento inició con obtener la topografía última del sitio que fue elaborada por el CSOCH (2019b). Posterior a ello, se realizó la importación de los puntos topográficos utilizando el software AutoCAD Civil 3D versión 2023. A partir

de los puntos se obtuvieron las curvas de nivel y con ello la superficie de trabajo, esta se muestra en la siguiente Figura 26 y se detalla en el plano DME-15-GL-001 del anexo 3.

Figura 26

Curvas de nivel cada 1 m del levantamiento topográfico del DME 15



Nota. Elaborado en base a la información del (CSOCH, 2019b).

5.4.2 Sección de análisis

A partir de las secciones geotécnicas (mostradas en la Figura 24 y Figura 25) se consideró una (01) sección crítica de análisis representativa denominada B-B trazada paralela a la sección geotécnica A-A y ubicada al centro del área del DME. Esta fue seleccionada teniendo en cuenta la mayor altura que se proyectaría tendría el DME en esta sección, la perpendicularidad a las curvas de nivel, mayor pendiente y la información geotécnica disponible, esta se presenta en la siguiente Figura 27.

Figura 27

Sección crítica para el análisis del DME 15



Nota. Elaborado en base a la información del (CSOCH, 2019b). La sección de diseño civil B-B' que se empleará para los análisis de estabilidad de la presente investigación es paralela a la sección geotécnica A-A'.

5.4.3 Nivel freático

Se detectó la presencia de nivel de agua a 2.50 m de profundidad en algunas zonas del área del DME 15. Asimismo, durante la ejecución de las investigaciones geotécnicas, se tomaron registro de afloramientos de agua presente en el área de estudio. Además, se observó áreas de bofedales en la parte superior e inferior del DME 15, una laguna en la parte superior y un cauce de agua de 3 m de ancho en la parte inferior, aguas abajo. Por tanto, se considerará que el nivel freático se presentará sobre la capa del sistema de subdrenaje en la sección de análisis, como condición crítica. Asimismo, se podría recomendar la instalación de piezómetros para monitorear el nivel freático.

Asimismo, el diseño del sistema de subdrenaje para el DME 15 como concepto, podría consistir en tuberías secundarias y principales tipo espina de pescado que desemboken en una poza colectora de filtraciones. Cabe

mentar que, el diseño hidráulico debe integrarse con el manejo de aguas de la carretera Oyón Ambo. Por otro lado, el diseño del sistema de esorrentía superficial como concepto, podría consistir en cunetas ubicadas en las banquetas y cresta del DME, y desembocarían a un canal colector sur.

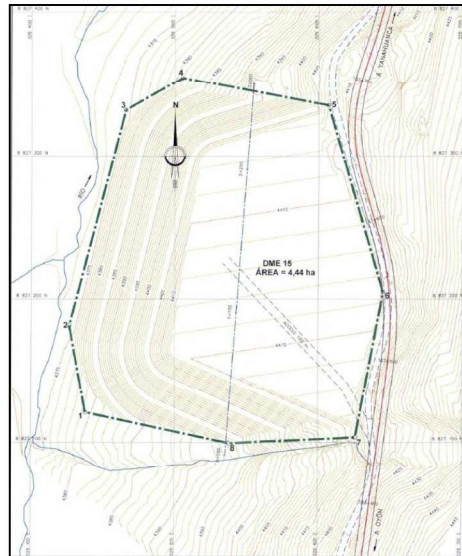
5.4.4 Planteamiento de taludes locales

Teniendo la caracterización del sitio, la caracterización geotécnica de los materiales, la base topográfica, la sección de análisis y determinado el nivel freático, se procedió a realizar el planteamiento de los taludes locales del diseño geotécnico del DME.

Previamente, se revis  el diseño geotécnico proyectado para el DME 15, con la información disponible en su momento, por el consorcio Cesel – Sigt en el año 2015 en su “*Estudio de Factibilidad y Definitivo para el Mejoramiento de la Carretera Oyón – Ambo*”. Este diseño geotécnico consideró taludes locales simples de 1.5 H: 1 V, taludes de acuerdo con la recomendación (DI-9) del manual del MTC (2005), un ancho de banqueta de 3 m y una altura de banqueta de 10 m como se observa en la Figura 28 y Figura 29, y se detalla en la Tabla 31. Asimismo, la cota máxima del DME por la cota de la carretera era 4 417 m s.n.m.

Figura 28

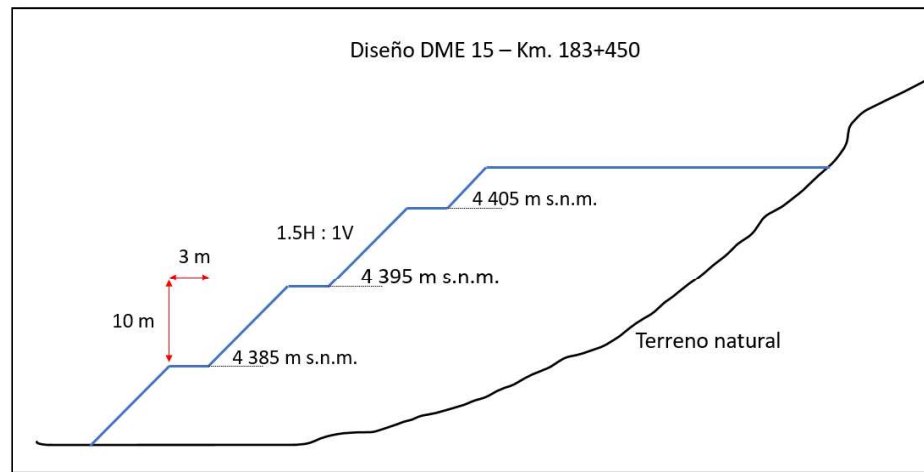
Vista en planta del diseño geotécnico de Cesel - Sigt para el DME 15



Nota. Elaborado en base a la información del (Cesel-Sigt, 2015a).

Figura 29

Sección típica del diseño geotécnico de Cesel - Sigt para el DME 15



Nota. Elaborado en base a la información de (Cesel-Sigt, 2015a).

Tabla 31

Diseño geotécnico de Cesel - Sigt para el DME 15

Característica	Unidad	Valor
Ancho de banqueta	M	3.0
Altura de banqueta	M	10.0
Taludes locales de banqueta	H: V	1.5:1
Talud global	H: V	1.7:1
Ancho máximo	m	210
Largo máximo	m	245
Altura máxima	m	42

Nota. Elaborado en base a la información de (Cesel-Sigt, 2015a).

Asimismo, para verificar si el diseño es físicamente estable se le realizó un análisis de estabilidad de taludes como se muestran en la siguientes Figura 30 y Figura 31. Para ello, se definieron los siguientes criterios geotécnicos (sísmicos y de estabilidad física) que se detallan en las Tabla 32 y Tabla 33, y se consideró la caracterización geotécnica de los materiales que se resume en la Tabla 34.

Tabla 32*Criterios sísmicos del diseño geotécnico de Cesel - Sigt para el DME 15*

Descripción	Unidad	Valor
Periodo de Retorno	años	475
Tipo de suelo	adim.	Tipo C
PGA	g	0.33
Coeficiente Sísmico (kh)	Método	Hynes y Franklin, 1984
	Formulación	50% PGA
	adim.	0.165 ⁽¹⁾

Nota. Elaborado a partir del estudio de peligro sísmico de (Cesel-Sigt, 2015b).

1. Se utilizó el 50% de la aceleración pico del suelo (PGA), en base a la recomendación del Cuerpo de Ingenieros de los Estados Unidos (USACE, por sus siglas en inglés) (Hynes y Franklin, 1984).

Tabla 33*Criterios de estabilidad física del diseño geotécnico de Cesel - Sigt para el DME 15*

Condición de Análisis	Unidad	Factor de Seguridad Mínimo
Estático	adim.	1.50
Pseudoestático	adim.	1.00

Nota. Adaptado de (Cesel-Sigt, 2015a).

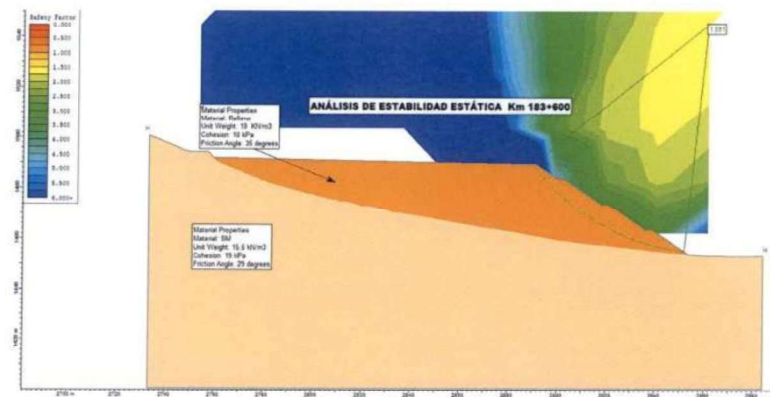
Tabla 34*Resumen de parámetros geotécnicos del diseño geotécnico de Cesel-Sigt para el DME 15*

Material	Peso Unitario (kN/m ³)	Parámetros de resistencia	
		Cohesión c' (kN/m ²)	Ángulo de Fricción ϕ' (°)
Material de Desmonte	19.0	10	35
Deposito Coluvial	15.5	19	29

Nota. Adaptado de (Cesel-Sigt, 2015a).

Figura 30

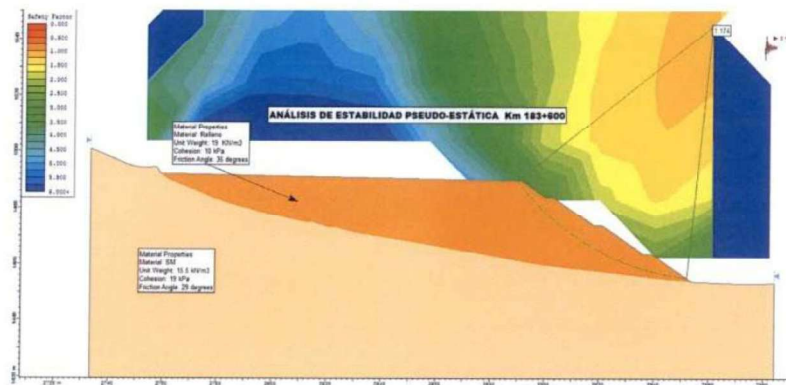
Análisis de estabilidad estático del diseño geotécnico de Cesel - Sigt del DME 15



Nota. Obtenido de (Cesel-Sigt, 2015a).

Figura 31

Análisis de estabilidad pseudoestático del diseño geotécnico de Cesel - Sigt del DME 15



Nota. Obtenido de (Cesel-Sigt, 2015a).

Finalmente, los resultados, que se resumen en la siguiente Tabla 35, indican que los factores de seguridad obtenidos son mayores a los mínimos requeridos en condiciones estáticas y pseudoestáticas; por tanto, el diseño geotécnico previo proyectado para el DME 15 era físicamente estable. A partir del cual estimaban una capacidad de almacenamiento de 587 031 m³ de material de desmonte para el DME 15, siendo el de mayor potencial de almacenamiento del tramo II de la carretera Oyon Ambo.

Tabla 35

Resultados del análisis de estabilidad del diseño geotécnico de Cesel - Sigt del DME 15

Condición de Análisis	Factor de Seguridad (FS)	Factor de Seguridad Mínimo
Estático	1.59	1.50
Pseudoestático	1.14	1.00

Nota. Adaptado de (Cesel-Sigt, 2015a).

Por lo anterior, se podrían plantear taludes locales simples de 1.5 H: 1 V, sin embargo, será necesario realizar el análisis de estabilidad considerando la actualización de la caracterización geotécnica, la sección de análisis definida y el nivel freático determinado para verificar si es físicamente estable. Se denominará entonces esta opción como alternativa 1.

Asimismo, según la caracterización geotécnica (véase Anexo 1 y Tabla 29), el ángulo de reposo del material de desmonte se encuentra entre 32.5° y 46.8°, es decir, podría mantenerse estable hasta en taludes locales simples de 1 H: 1 V. Sin embargo, el ángulo de fricción promedio considerado para el material de desmonte es de 38°, es decir, se pueden plantear taludes locales simples hasta de 1.3 H: 1 V. Sin embargo, el MTC (2005) recomienda taludes locales no más inclinados que 1.5 H: 1 V.

De manera conservadora y por la presencia del nivel freático de manera superficial, se planteará una opción con taludes locales simples de 2.5 H: 1 V y se denominará alternativa 2.

Asimismo, se planteará una opción con taludes locales simples de 2.0 H: 1 V y se denominará alternativa 3.

Cabe mencionar que, en caso las alternativas no cumplan con los factores de seguridad mínimos requeridos, entonces se plantearán taludes locales simples menos inclinados (3 H: 1 V, por ejemplo) o se plantearía un diseño alternativo (colocar dique de contención al pie o sistema terramesh, por ejemplo).

5.4.5 Planteamiento de altura de banquetas

La altura de banquetas depende de 5 factores principalmente, los cuales se resumen en la siguiente Tabla 36.

Tabla 36

Factores que afectan a la altura de la banqueta

Factor	¿Cómo afecta a la altura de banqueta?
Tipo de equipo	Define el máximo operativo por nivel
Estabilidad del material excedente	Material más inestables entonces alturas menores
Altura total del DME	Secciones más altas entonces requiere más niveles
Espacio disponible	Menos espacio entonces banquetas más altas
Control constructivo	Mejor control entonces posibilidad de mayor altura

Nota. Basada en el manual de carreteras del (MTC, 2014), fichas técnicas de maquinarias y práctica industrial.

De estos factores, la altura típica de la banqueta de acuerdo con el material se resume en la siguiente Tabla 37. Asimismo, la altura práctica por nivel del tipo de equipo empleado para conformar el DME se resume en la siguiente Tabla 37.

Tabla 37

Altura típica de banqueta de acuerdo con el tipo de material

Tipo de Material	Altura Típica de Banqueta (m)	Observaciones
Material suelto (excavación común)	6 - 8	Lo más usual en DME. Puede incrementarse si hay buena compactación
Material más fino o húmedo	4 - 6	Menor altura para evitar licuación o inestabilidad
Material rocoso / material estable	hasta 10	De 10 m se debe plantear buena ingeniería: taludes moderados 1.5 H: 1 V o menos inclinados, drenaje adecuado, cobertura vegetal, control de compactación y estabilidad
Taludes con vegetación y drenaje	hasta 12 en casos puntuales	> 10 m, solo con estudios de estabilidad, plan de ejecución por fases, sistema de drenaje, control de compactación, control de erosión

Nota. Basada en el manual de carretera del (MTC, 2014).

Tabla 38*Altura máxima práctica por nivel por tipo de equipo*

Tipo de Equipo	Altura Máxima Práctica por Nivel (m)
Excavadora hidráulica (brazo estándar)	6 - 8
Excavadora hidráulica (brazo largo)	hasta 12, menos común en conformación de DME
Bulldozer D6 - D8 (conformación por empuje)	4 - 6
Compactador vibratorio	4 - 6
Volquete	Depende de la banqueta, pero seguro hasta 6 sin rampa

Nota. Basada en el manual de carretera del (MTC, 2014), fichas técnicas de maquinarias y práctica industrial.

Además, como referencias, el diseño geotécnico del DME 3 de la carretera Oyon Ambo presentado por Gaviria & Suárez (2019) y el diseño geotécnico del Estudio Definitivo de los DME 15 al 30 de la carretera Oyon Ambo presentado por Cesel-Sigt (2015) consideraron alturas de banqueta de 10 m, por tratarse de un material excedente colocado de manera controlada y compactada.

También, se sabe que, el área del DME 15 es aproximadamente 250 m x 220 m, y una altura aproximada de 40 m (ver Tabla 15), por tanto, y en base a las referencias, se va a plantear alturas de banqueta de 10 m para las alternativas, es decir, 04 banquetas.

Cabe mencionar que, en caso las alternativas no cumplan con los factores de seguridad mínimos requeridos, entonces se plantearán alturas de banqueta menores (8 m, por ejemplo).

5.4.6 Planteamiento de ancho de banquetas

El ancho de banqueta depende de 4 factores principalmente, los cuales se resumen en la siguiente Tabla 39.

Tabla 39*Factores que afectan a la altura de la banqueta*

Factor	¿Cómo afecta al ancho de banqueta?
Altura del talud	A mayor altura del talud global, mayor debe ser el ancho de la banqueta para reducir peso, y detener o disipar posibles deslizamientos
Función de la banqueta	Si solo es descanso, puede ser de 2.0 - 3.0 m con inspección sin vehículo. Si es para maquinaria, mínimo 3.5 - 4.5 m. Si hay presencia de cunetas añadir 0.5 - 1.0 m adicionales al ancho útil. Si se requiere inspección con vehículos, el ancho debe ser mínimo 4.0 m
Estabilidad del material excedente	Si el material es suelto, no cohesivo o húmedo, se necesita una banqueta más ancha para compensar la menor estabilidad del talud.
Tipo de maquinaria que circulará	Si circulará maquinaria liviana o pesada el ancho debe permitir el paso seguro de ida y vuelta y maniobras

Nota. Basada en el manual de carretera del (MTC, 2014), fichas técnicas de maquinarias y práctica industrial.

Además, como referencias, el diseño geotécnico del DME 3 de la carretera Oyon Ambo presentado por Gaviria & Suárez (2019) y el diseño geotécnico del estudio definitivo de los DME 15 al 30 presentado por Cesel-Sigt (2015), consideraron anchos de banqueta de 3 m, considerando cuneta, como descanso y estabilidad, y la inspección sería sin vehículo.

Para el presente DME 15, sí se estima que se desarrollen cunetas (aproximadamente como concepto 0.5 m de ancho), además las banquetas servirán como descanso y brindar estabilidad a la estructura, asimismo, la inspección periódica será sin vehículo, por tanto, y en base a las referencias, se va a plantear anchos de banqueta de 3 m para las alternativas.

Cabe mencionar que, en caso las alternativas no cumplan con los factores de seguridad mínimos requeridos, entonces se plantearán anchos de banqueta mayores (4 m, por ejemplo).

5.4.7 Planteamiento de diseño geotécnico de un DME

Se han considerado tres (03) alternativas como planteamiento de diseño geotécnico para el DME 15 de la carretera Oyon Ambo. Cabe mencionar que se tiene como limitación la cota máxima de 4 417 m s.n.m. que representa la cota de la carretera, por tanto, la altura máxima de apilamiento será máximo de

aproximadamente 38 m. Estas alternativas se resumen en la siguiente Tabla 40, y, por ejemplo, se muestra el planteamiento de la alternativa 3 en la Figura 32.

Tabla 40

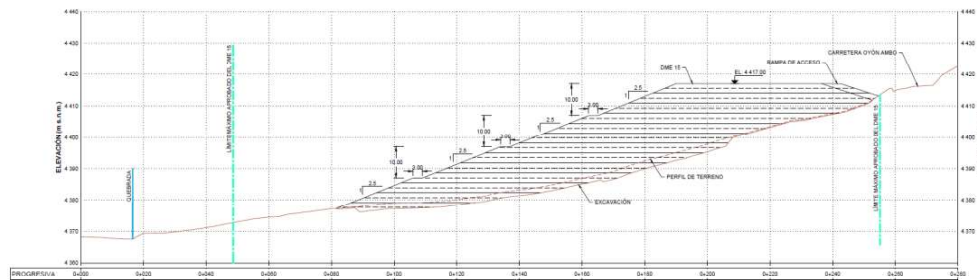
Planteamiento de alternativas de diseño geotécnico para el DME 15

Descripción	Unidad	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3
Talud local de banqueteta	H: V	1.5:1	2.5:1	2.0:1
Altura de banqueteta	m	10.0	10.0	10.0
Ancho de banqueteta	m	3.0	3.0	3.0
Talud global	H: V	1.7:1	2.7:1	2.2:1
Altura máxima	m	38	38	38
Cota máxima	m s.n.m.	4 417	4 417	4 417

Nota. Elaboración propia.

Figura 32

Alternativa 3, diseño geotécnico planteado para el DME 15 con talud local de 2.5 H: 1 V



Nota. Elaboración propia.

5.5 Análisis de estabilidad

Siguiendo el procedimiento de la Figura 10 y Figura 13, este paso 4 permite realizar los análisis de estabilidad de las alternativas como planteamientos de diseño geotécnico para el DME 15. Para el desarrollo del análisis de estabilidad se realizan los siguientes sub pasos.

5.5.1 Determinación de criterios geotécnicos

Como sub paso 1 se debe determinar los criterios sísmicos y los criterios de estabilidad física para el DME 15 en función de la calidad de la información y la consecuencia de falla del DME.

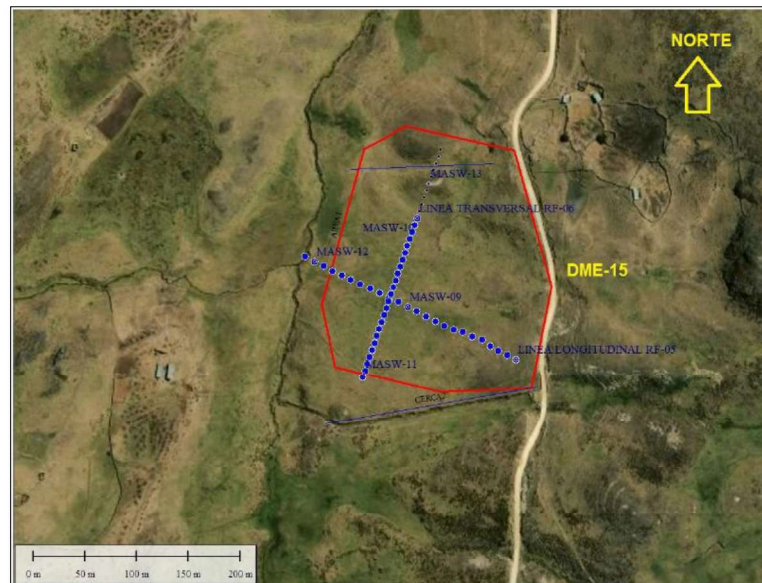
5.5.1.1 Criterios sísmicos.

5.5.1.1.1 Clasificación sísmica de la fundación.

De acuerdo con las investigaciones geotécnicas in situ realizadas por el CSOCH (2019d) para la zona del DME 15, el suelo superficial está conformado en promedio de 0.0 – 2.50 m por material antrópico y topsoil, con un espesor promedio de 1.30 m; de 2.50 m a 4.40 m es suelo residual compuesto por arena limosa SM según la clasificación SUCS, de plasticidad media, medianamente densa, húmeda, marrón; el suelo es estable al momento de la excavación, su composición está formada por 2% de gravas, de 55 a 69% de arenas y finos de 28 a 42%. Presenta limite liquido entre 24 a 30 e índice de plasticidad entre 3 a 4. Posteriormente, se encuentra la roca volcánica andesita. Véase la Figura 33 que muestra la vista en planta de los ensayos geofísicos del DME 15.

Figura 33

Vista en planta de los ensayos geofísicos del DME 15



Nota. Extraído de (CSOCH, 2019d).

A partir de los perfiles unidimensionales de ondas de corte obtenidos de los ensayos geofísicos MASW 1D, se ha calculado la velocidad promedio de ondas de corte para los primeros 30 m de profundidad del suelo (V_{s30}) con el propósito de determinar el tipo de perfil sísmico al cual corresponde.

De acuerdo con el estudio geofísico del CSOCH (2019d), los primeros 8 m aproximadamente corresponden a suelo denso, con velocidad de ondas de corte (V_s) en el orden de 215 a 532 m/s. Luego, se encuentra la roca andesita alterada con V_s en el orden de 445 a 617 m/s y, posteriormente, a aprox. 13 m se encuentra la roca andesita dura con $V_s > 710$ m/s. Véase la Tabla 41.

Tabla 41

Perfil de velocidades de ondas de corte en la fundación del DME 15

V_s (m/s)	Espesor (m)	Profundidad (m)	
226	3.0	0	3.0
476	4.0	3.0	7.0
554	5.0	7.0	12.0
710	6.0	12.0	18.0
833	7.0	18.0	25.0
1876	5.0	25.0	30.0
827	V_{s30}	Promedio	

Nota. Elaboración propia.

De acuerdo con la clasificación de sitio del Internacional Building Code (Interna, 2012), la fundación se clasifica en 6 clases como se muestra en la siguiente Tabla 42. De acuerdo con el resultado de V_{s30} igual a 827 m/s para la fundación del DME 15, este correspondería a una clasificación sísmica de suelo Tipo B según el Internacional Council Code [ICC] (2012).

Tabla 42

Clasificación sísmica del sitio según el International Building Code

Tipo de Suelo	Nombre del Suelo	Velocidad de onda de corte, V_s (m/s)	Resistencia a la penetración estándar, N	Resistencia al corte no drenado, S_u (psf)
A	Roca muy dura	$V_s > 1\,500$	N/A	N/A
B	Roca	$760 < V_s \leq 1\,500$	N/A	N/A
C	Suelo muy denso a roca blanda	$360 < V_s \leq 760$	$N > 50$	$S_u \geq 2\,000$
D	Suelo rígido	$180 < V_s \leq 360$	$15 \leq N \leq 50$	$1\,000 \leq S_u \leq 2\,000$

E	Suelo blando	$V_s \leq 180$	$N < 15$	$S_u < 1\,000$
E	-	Cualquier perfil de suelo con más de 3 m de espesor que tenga las siguientes características: 1. Índice de plasticidad (IP) ≥ 20 2. Contenido de humedad(w) $\geq 40\%$ 3. Resistencia al corte no drenado $S_u \leq 500$ psf		
F	-	Cualquier perfil de suelo que contenga una o más de las siguientes características: 1. Suelos vulnerables a una posible fractura o colapso bajo efecto sísmico, por ejemplo: suelos licuables, arcillas altamente sensibles y suelos débilmente cementados 2. Turbas y/o arcillas altamente orgánicas (H >3 m de turba y/o arcillas altamente orgánicas, donde H = espesor del suelo) 3. Arcillas de muy alta plasticidad (H >7.6 m con índice de plasticidad IP >75) 4. Arcillas gruesas suaves a medias (H >36 m)		

Nota. Traducido de (ICC, 2012).

5.5.1.1.2 Sismo de diseño.

La guía de Hawley & Cunning (2017) considera “común” para los vertederos de desechos de mina, acopios de material y depósitos de desmonte de mina (DDM), un periodo de retorno de 475 años, asociado a una vida útil de 50 años y una probabilidad de excedencia de 10%, dato que podemos emplear como referenciar por su similitud geométrica del DDM con un DME.

A nivel local, Perú, se tiene la guía del MEM (1997) y que está enfocada principalmente a presas de relave, pero puede emplearse a otras estructuras mineras como un depósito de desmonte de mina.

En esta guía se indica que para las presas de relave donde una falla podría provocar la muerte de personas y un daño grave a la propiedad se recomienda como sismo de diseño el Terremoto Máximo Creíble (MCE, por sus siglas en inglés). También, se señala que en el pasado se intentó divulgar mapas de riesgo sísmico en Perú que ofrezcan aceleraciones pico de terreno (PGA) para un periodo de retorno de 475 años (MEM, 1997).

Además, la guía indica que se tomaron en cuenta estos valores para aproximarse a los movimientos de suelo de MCE en varias regiones del Perú, debido a la regularidad de sucesos importantes de subducción. Es importante destacar que la guía indica que el periodo de retorno de 475 años se asemeja al comúnmente utilizado para el diseño de presas de relave en América del Norte (MEM, 1997), periodo que podemos utilizar como punto de referencia para calcular el sismo de diseño de un DME.

Por otro lado, en base a la normativa técnica E.030 Diseño Sismorresistente del Reglamento Nacional de Edificaciones (RNE), elaborada por el Ministerio de Viviendas Construcción y Saneamiento [MVCS] (2018), que divide al Perú en 04 zonas sísmicas, indica que, para el distrito de Yanahuanca donde se encuentra nuestro DME 15, le corresponde la zona sísmica 3, al cual se le asigna un factor Z de 0.35. Este factor Z se interpreta como la aceleración máxima horizontal (PGA) en un suelo rígido (Tipo B) con una probabilidad de excedencia de 10% en 50 años de vida útil de la estructura, esto es equivalente a un periodo de retorno de 475 años, dato que da una referencia importante del sismo de diseño al cual se apunta al diseñar edificaciones en el Perú.

Por tanto, en base a las referencias anteriores y de manera conservadora se considerará 475 años de periodo de retorno.

5.5.1.1.3 Formulación para determinar el coeficiente sísmico.

Los análisis dinámicos buscan evaluar el comportamiento de una estructura ante la acción de un sismo, sin embargo, también puede ser evaluado de manera aproximada a través un procedimiento simplificado comúnmente denominado análisis pseudoestático. En este análisis los efectos sísmicos se modelan mediante una fuerza adicional que actúa en la dirección horizontal y, si procede, también en la dirección vertical. Esta fuerza se determina multiplicando el peso de la masa deslizante por un llamado coeficiente sísmico (k_h).

Cabe mencionar que formulaciones para determinar el coeficiente sísmico hay muchas, dependiendo de diversos autores, por ejemplo, Saragoni (1993) para PGA menores a 0.67 g recomienda emplear el 30% de la PGA, por otro lado, Hynes-Griffin & Franklin (1984) recomienda utilizar 50% de la PGA, como se puede observar en la siguiente Figura 34.

Figura 34*Formulaciones para determinar el coeficiente sísmico horizontal*

Coeficiente sísmico horizontal, k_h	Comentario	Fuente
0.05 – 0.15	Valores típicos usados en Estados Unidos	-
0.12 – 0.25	Valores típicos usados en Japón	-
0.10 0.20 0.50	Sismos severos Sismos violentos, destructivos Sismos catastróficos	Terzagui (1950)
0.10 – 0.20	FoS ≥ 1.50	Seed (1979)
0.10 0.20	Importante Sismo FoS > 1.00 Gran Sismo FoS > 1.00	USACE (1982)
1/2 – 1/3 de la aceleración máxima horizontal del suelo (PGA) en g	FoS > 1.00	Marcuson y Franklin (1983)
1/2 de la aceleración máxima horizontal del suelo (PGA) en g	FoS > 1.00	Hynes-Griffin y Franklin (1984)

Nota. Traducido de (Hawley & Cuning, 2017).

Como comentario adicional, para presas de relaves, por ejemplo, históricamente, la selección del coeficiente sísmico horizontal (k_h) se basaba en el juicio de ingeniería y precedentes, sin una conexión explícita con las características específicas del sitio, como las propiedades del material, el riesgo sísmico, o el desplazamiento esperado. Sin embargo, con el desarrollo de la ingeniería sísmica basada en el desempeño (PBEE, de sus siglas en inglés) y un mejor entendimiento de los peligros sísmicos, se reconoce que el uso de un valor de k_h prescrito y basado en prácticas antiguas no es adecuado según Bray & Macedo (2024). Asimismo, sugiere que el k_h debe determinarse considerando el riesgo sísmico único de cada sitio y el nivel de desplazamiento sísmico que se puede considerar aceptable para la seguridad de las presas de relaves. Es importante agregar que la metodología de Bray et. al. (2023) permite una estimación mecanicista y contextualizada del coeficiente sísmico horizontal en el análisis de estabilidad de taludes en condición pseudoestática.

Sin embargo, a nivel local, en Perú, la guía del MEM (1997), que aplica a Depósitos de Desmonte de Mina (DDM), las cuales son estructuras geoméricamente similares a un DME, recomienda como formulación para determinar el coeficiente sísmico un valor entre 1/2 a 2/3 de la aceleración pico del terreno (PGA, por sus siglas en inglés).

Finalmente, de manera conservadora y en base a la práctica ingenieril, se considerará como formulación para determinar el coeficiente sísmico $1/2$ de la PGA.

5.5.1.1.4 Coeficiente sísmico.

Actualmente, se tiene un estudio de peligro sísmico elaborado por Cesel-Sigt (2015) para la zona comprendida por el tramo II de la Carretera Oyon Ambo, el cual abarca a la zona del DME 15, y cuya aceleración máxima del terreno para un periodo de retorno de 475 años y para un suelo tipo B, como es el caso del DME 15, es de 0.27, por tanto, aplicando $1/2$ de la PGA, nos daría un coeficiente sísmico de 0.135.

Como comentario adicional, el Australian National Committee on Large Dams [ANCOLD] (2019) recomienda para depósitos de relaves emplear un estudio de peligro sísmico con una antigüedad no mayor a 05 años, tiempo que se toma como referencia para la investigación, observando que el estudio de peligro sísmico presente tiene una antigüedad de más de 08 años, por ello se recomienda actualizarlo para el diseño de futuros DME de la carretera Oyon Ambo.

Por otro lado, de acuerdo con la norma E030 del MVCS (2018), la ubicación del DME 15 se encuentra en la zona sísmica 3, que le corresponde un valor de factor de zonificación sísmica (Z) igual a 0.35 para 475 años de periodo de retorno, y aplicando $1/2$ de la PGA se obtendría 0.175 como coeficiente sísmico.

Finalmente, en base a ambas referencias anteriores, para el DME 15 de manera conservadora se considerará un valor de coeficiente sísmico (k_h) de 0.18.

5.5.1.1.5 Resumen de criterios sísmicos.

La siguiente Tabla 43 presenta el resumen de criterios sísmicos para el DME 15.

Tabla 43*Criterio sísmicos para el DME 15*

Descripción	Unidad	Valor	Fuente
Clasificación del Suelo	adim.	Suelo tipo B ($V_{s30} = 827$ m/s)	CSOCH (2019d)
Sismo de diseño	años	475	MEM (1997) MVCS (2018)
Aceleración máxima del terreno (PGA)	g	0.35	MVCS (2018)
Formulación para determinar el coeficiente sísmico	método	1/2 PGA	MEM (1997) Hynes-Griffin & Franklin (1984) Marcuson (1981)
Coeficiente sísmico	kh	0.18	Propuesto

Nota. Elaboración propia.

5.5.1.2 Criterios de estabilidad física.

Para determinar la estabilidad física de un talud, se utiliza un factor de seguridad (FS) previamente establecido. Este factor representa la correlación entre la resistencia al corte en la superficie de falla y las cargas que la masa impone sobre dicha superficie de falla. Además, para afirmar que una estructura es físicamente estable o su diseño es aceptable, debe satisfacer los mínimos factores de seguridad necesarios (De la Cruz, Y. & Valderrama, E., 2021). Sin embargo, es necesario mencionar que actualmente no se tiene una norma peruana que aborde el tema de determinación de los criterios de estabilidad física para los depósitos de material excedente (DME). Por ello, a continuación, se presentarán diferentes guías para determinar los criterios de estabilidad física:

5.5.1.2.1 Guía de Hawley - Cunning.

Según la metodología los factores de seguridad para la condición estática y pseudoestática se pueden determinar con base al nivel de confianza en la información existente y el nivel de consecuencia que potencialmente tendría en caso falle la estructura. Esto se resumen en la siguiente Figura 35.

Figura 35

Matriz de determinación de factores de seguridad según Hawley - Cuning

Análisis estático ^{1, 2}				
Consecuencia	Alta	FoS ≥ 1.5	FoS 1.4 - 1.5	FoS 1.3 - 1.4
	Moderado	FoS 1.4 - 1.5	FoS 1.3 - 1.4	FoS 1.2 - 1.3
	Bajo	FoS 1.3 - 1.4	FoS 1.2 - 1.3	FoS 1.1 - 1.2
		Bajo	Moderado	Alta
Confianza				

Análisis pseudoestático ^{1, 2}				
Consecuencia	Alta	FoS ≥ 1.15	FoS 1.1 - 1.15	FoS 1.05 - 1.1
	Moderada	FoS 1.1 - 1.15	FoS 1.05 - 1.1	FoS 1.0 - 1.05
	Bajo	FoS 1.05 - 1.1	FoS 1.0 - 1.05	FoS ≥ 1.0
		Bajo	Moderado	Alta
Confianza				

Nota. Adaptado de (Hayley & Cuning, 2017). En el supuesto de que la confianza y la consecuencia entre en conflicto o no está clara la selección del nivel apropiado, este se debe basar en la apreciación de las condiciones, y la justificación de la selección debe ser documentada.

A. Nivel de Confianza

El nivel de confianza representa el grado de certidumbre que se tiene respecto la información a ser empleada en la evaluación. De acuerdo con la metodología empleada, el nivel de confianza se clasifica como alto, medio o bajo (véase la Tabla 44) en función a los siguientes subcriterios:

- Confianza respecto a las condiciones de fundación, propiedades de los materiales, niveles piezométrico y mecanismos de falla potencial.
- Variabilidad en parámetros de entrada a ser empleados en los análisis de estabilidad física.
- Suficiencia y validez de la documentación del proceso constructivo, operación y monitoreo; y desempeño durante operación de la estructura evaluada.

Tabla 44*Evaluación del nivel de confianza de la estructura*

Nivel de Confianza	Descripción
Bajo	• Si la confianza en relación con las condiciones de la fundación, las propiedades de los materiales, el nivel piezométrico, la metodología de análisis o los mecanismos de falla potencial es baja (Hawley y Cuning, 2017). • Si es deficiente la cantidad de parámetros de entrada o muy optimistas o gran variabilidad de los datos (Hawley y Cuning, 2017). • Si para las estructuras proyectadas, se tiene investigaciones a nivel conceptual con datos de respaldo limitados (Hawley y Cuning, 2017). • Si para estructuras actuales, si se tiene un historial de la construcción y operación mal documentado o desconocido; o ausencia de registros de monitoreo; o rendimiento histórico desconocido o insuficiente (Hawley y Cuning, 2017).
Moderado	• Si la confianza en las condiciones de la fundación, las propiedades de los materiales, el nivel piezométrico, la metodología de análisis o los mecanismos de falla potencial es moderada (Hawley y Cuning, 2017). • Si están adecuadamente definidos los parámetros de entrada o la variabilidad de los datos es moderada (Hawley y Cuning, 2017). • Si para las estructuras proyectadas, se tiene investigaciones a nivel de prefactibilidad con datos de respaldo moderados (Hawley y Cuning, 2017). • Si para estructuras actuales, se tiene un historial de la construcción y operación razonable; y registros de monitoreo razonables; y rendimiento histórico apropiado (Hawley y Cuning, 2017).
Alto	• Si la confianza en relación con las condiciones de la fundación, las propiedades de los materiales, el nivel piezométrico, la metodología de análisis o los mecanismos de falla potencial es alta (Hawley y Cuning, 2017). • Si los parámetros de entrada están definidos o han seleccionados de manera conservadora, o la variabilidad de los datos es baja (Hawley y Cuning, 2017). • Si para las estructuras proyectadas, se tiene investigaciones a nivel de factibilidad con datos de respaldo completos (Hawley y Cuning, 2017). • Si para las estructuras actuales, se tiene un historial de construcción y operación bien documentado; y registros de monitoreo suficiente; y buen rendimiento histórico (Hawley y Cuning, 2017).

Nota. Adaptado de (Hayley & Cuning, 2017) y basada en (Gaviria & Suárez, 2019).

B. Nivel de Consecuencia

El nivel de consecuencia representa el grado potencial afectación generada como consecuencia de la falla de la estructura evaluada. De acuerdo con la metodología empleada, el nivel de consecuencia se clasifica como bajo, medio o alto (véase la Tabla 45) en función a los siguientes subcriterios:

- Configuración geométrica de la estructura (i.e., talud global, altura máxima y ángulo de reposo).

- Existencia de infraestructura crítica o accesos dentro de la zona de derrame.
- Potencial impacto al medio ambiente.
- Tiempo de exposición a condiciones meteorológicas.

Tabla 45

Evaluación del nivel de consecuencia de la estructura

Nivel de Consecuencia	Descripción
Bajo	• Si las estructuras tienen taludes con ángulos globales menores de 25° y de menos de 100 m de altura, y taludes con ángulo de reposo de menos de 50 m de altura (Hawley y Cunning, 2017). • Si no se detecta infraestructura crítica dentro de una zona de potencial derramamiento (Hawley y Cunning, 2017). • Si el potencial impacto ambiental es bajo o limitado (Hawley y Cunning, 2017). • Si el área está expuesto a largo plazo, más de 5 años, a precipitaciones anuales de menos de 350 mm, o exposición a corto plazo, menos de 1 año, a precipitaciones anuales entre 1000 – 2000 mm, o construcción/ operación en temporada de estiaje (Hawley y Cunning, 2017).
Moderado	• Si las estructuras tienen taludes con ángulos globales menores de 30° y de menos de 250 m de altura, y taludes con ángulo de reposo de menos de 100 m de altura (Hawley y Cunning, 2017). • Si se detecta medidas de contención / mitigación para salvaguardar la infraestructura crítica dentro de una zona de potencial derramamiento (Hawley y Cunning, 2017). • Si el potencial impacto ambiental es moderado pero manejable (Hawley y Cunning, 2017). • Si el área está expuesto a largo plazo, más de 5 años, a precipitaciones anuales entre 350 – 1000 mm, o exposición a corto plazo, menos de 1 año, a precipitaciones anuales de más de 2000 mm (Hawley y Cunning, 2017).
Alto	• Si las estructuras tienen taludes globales menores de 30° y más de 250 m de altura, y taludes con ángulo de reposo de más de 200 m de altura (Hawley y Cunning, 2017). • Si se detecta infraestructura crítica dentro de una zona potencial derramamiento con medidas limitadas de mitigación/contención del derrame (Hawley y Cunning, 2017). • Si el potencial impacto ambiental es alto y complicado de manejar (Hawley y Cunning, 2017). • Si el área está expuesto a largo plazo, más de 5 años, a precipitaciones anuales entre 1000 – 2000 mm, o exposición a mediano plazo, de 1 a 5 años, a precipitaciones anuales de más de 2000 mm, o temporada(s) de lluvias intensas (Hawley y Cunning, 2017).

Nota. Adaptado de (Hayley & Cunning, 2017) y basada en (Gaviria & Suárez, 2019).

C. Valoración de Criterios

Para el análisis cuantitativo de los niveles de confianza y consecuencia, se empleó un sistema de puntajes que oscilan entre un mínimo de 1 para un nivel de confianza o consecuencia baja y 5 para el nivel de confianza o consecuencia alto (véase la siguiente Tabla 46).

Tabla 46

Puntaje por clasificación

Nivel	Peso
Alta	5
Moderada/Alta	4
Moderada	3
Baja/Moderada	2
Baja	1

Nota. Adaptado de (Golder, 2022).

Estos puntajes fueron posteriormente ponderados en base a los pesos de ponderación asignados a cada uno de los criterios evaluados. Los pesos de ponderación fueron asignados a cada criterio de evaluación con base en la revisión bibliográfica y experiencia obtenida. La Tabla 47 y Tabla 48 presentan los pesos de ponderación para los criterios considerados para la evaluación de los niveles de confianza y consecuencia, respectivamente.

Tabla 47

Pesos de ponderación por criterio del nivel de confianza

Criterio	Peso
Certeza respecto a las condiciones de cimentación, propiedades de materiales, niveles de agua y mecanismos de falla potencial.	0.33
Variabilidad parámetros de entrada a ser empleados en los análisis de estabilidad física.	0.33
Suficiencia y validez de la documentación del proceso constructivo y desempeño durante operación de la estructura evaluada.	0.33

Nota. Adaptado de (Golder, 2022).

Tabla 48*Pesos de ponderación por criterio del nivel de consecuencia*

Criterio	Peso
Configuración geométrica de la estructura (i.e. talud global, altura máxima y ángulo de reposo)	0.30
Existencia de infraestructura crítica o accesos dentro de la zona de derrame	0.30
Potencial impacto al medio ambiente	0.30
Tiempo de exposición a condiciones meteorológicas.	0.10

Nota: Adaptado de (Golder, 2022).

Una vez ponderados los valores asignados a cada criterio evaluado, la clasificación final en función al nivel de confianza o consecuencia final será determinado según los rangos presentados en la Tabla 49.

Tabla 49*Clasificación según puntajes ponderados*

Puntajes Ponderados	Clasificación
$X < 1.7$	Bajo
$1.7 \leq X < 3.3$	Moderado
$X \geq 3.3$	Alto

Nota: Adaptado de (Golder, 2022).

A continuación, la Tabla 50 y Tabla 51 presentan la evaluación de los niveles de confianza y consecuencia, evaluando cada subcriterio y asignando un puntaje para las alternativas de planteamientos de diseño geotécnico para el DME 15. Asimismo, se detalla el sustento por el cual se está colocando el puntaje respectivo.

Tabla 50

Clasificación del nivel de confianza del DME 15

Instalación	Criterios				Clasificación según Nivel de Confianza
	Certeza respecto a las condiciones de cimentación, propiedades de materiales, niveles de agua y mecanismos de falla potencial	Variabilidad parámetros de entrada a ser empleados en los análisis de estabilidad física	Suficiencia y validez de la documentación del proceso constructivo y desempeño durante operación		
DME 15	- Se cuenta con el estudio geotécnico elaborado por el CSOCH (2019d) donde se ha realizado un mapeo geológico, una campaña de investigaciones geotécnicas y ensayos de laboratorio. Gracias a ello, se conoce los estratos que conforman la fundación. - Asimismo, si se ha realizado muestreo y ensayos de laboratorio del estrato más representativo de la fundación, es decir, el suelo residual, así como se ha caracterizado al material de desmonte que conforma a la estructura y la roca presente. - Sin embargo, no se ha recopilado muestras de todos los estratos de la cimentación (topsoil, bofedal, depósito fluvioglacial, depósito coluvial, aluvial) para la realización de ensayos de laboratorio. Por tanto, se está considerando un puntaje moderado a este criterio.	- El material residual (principal de la fundación), desmonte y roca se ha caracterizado con valores promedio de una serie de datos provenientes de ensayos. - Asimismo, se ha caracterizado el resto de los materiales con bibliografía relacionado, sin embargo, puede existir variabilidad de estos datos, dado que no se tiene sustento de ensayos de laboratorio. Por tanto, se está considerando un puntaje moderado a este criterio.	Si bien actualmente la estructura aún no existe, pero se espera que se realice control de calidad, supervisión de la construcción por el CSOCH y finalmente se realice un Dossier y planos As Built. Por tanto, se está considerando un puntaje bajo a moderado a este criterio.	M (3) M (3) B/M (2)	Moderado (2.7)

Nota. Elaboración propia.

Tabla 51

Clasificación del nivel de consecuencia del DME 15

Instalación	Criterios				Clasificación según Nivel de Consecuencia
	Configuración geométrica de la estructura (i.e. talud global, altura máxima y ángulo de reposo)	Existencia de infraestructura crítica o accesos dentro de la zona de derrame	Potencial impacto al medio ambiente	Tiempo de exposición a condiciones meteorológicas ⁽¹⁾	
DME 15	De manera conservadora, considerado los taludes locales más inclinados de 1.5:1V, da: ▪ Talud global: 29° (1.7H:1V) ▪ Talud local: 33° (1.5H:1V) ▪ Altura máxima: 38 m aprox. Por tanto, de manera conservadora se está considerando un puntaje de moderado a este criterio.	▪ Existe un cauce de agua (río) de 1 a 3 m de ancho, y de hasta 6 m en época de lluvias, al pie del DME, sin embargo, el DME 15 se ha proyectado a una distancia de 60 m (ver sección B-B) de la huella marginal del cauce (mayor a los 30 m requeridos), además, como concepto, se considera plantearse un sistema de subdrenaje y sistema de drenaje para garantizar la estabilidad hidrológica. Por tanto, se considera este criterio de manera conservadora en moderado.	▪ El posible impacto potencial al medio ambiente es a la quebrada ubicada en el pie, sin embargo, el DME 15 se ha proyectado a una distancia de 60 m de la huella marginal del cauce (mayor a los 30 m requeridos), Por tanto, se considera este criterio de manera conservadora en moderado.	▪ Precipitación total anual promedio de: 155 mm, llegando a un máximo de 500 mm. Por tanto, de manera conservadora se está considerando un puntaje de moderado a este criterio.	M (3) Moderado (3.0)

Nota. Elaboración propia.

D. Factores de Seguridad

La Tabla 52 presenta los factores de seguridad mínimos requeridos determinados para el DME 15 según la metodología de Hawley & Cuning (2017).

Tabla 52

Factores de seguridad mínimos requeridos para el DME 15 según la metodología de Hawley - Cuning

Estructura	Nivel de Confianza	Nivel de Consecuencia	Factor de Seguridad Estático	Factor de Seguridad Pseudoestático
DME 15	Moderada	Moderado ⁽¹⁾	1.30 - 1.40	1.05 - 1.10

Nota. Se recomienda verificar la valoración de “moderado” de este criterio luego de definir la propuesta de diseño geotécnico del DME 15 y realizar un análisis de deformaciones con métodos simplificados o con métodos numéricos.

5.5.1.2.2 Guía ambiental del MEM.

A nivel local, Perú, la Guía Ambiental peruana para la Estabilización de Taludes de Desechos Sólidos de Mina elaborada por el MEM (1997), y que aplica para los depósitos de desmonte de mina (DDM) estructuras similares a los DME, establece factores de seguridad mínimos de acuerdo con la Tabla 53.

Tabla 53

Factores de seguridad mínimos taludes aguas abajo según el MEM y que fueron modificados de COE

Suposiciones	Caso A	Caso B
Utilizando propiedades de resistencia pico al corte (análisis estático) (MEM, 1997).	1.50	1.30
Utilizado propiedades de resistencia residual al corte (análisis postsismo) (MEM, 1997).	1.30	1.20
Agregando la carga del mayor sismo que pueda suceder en un lapso de 100 años (MEM, 1997).	1.20	1.20
Para el deslizamiento horizontal a través de depósitos de relaves en zonas sísmicas, se debe considerar que la resistencia al corte de los relaves que se encuentran detrás de la presa es cero (MEM, 1997).	1.30	1.30

Nota. Obtenido del (MEM, 1997) y (Alva, 2006).

1. Caso A: si se prevé que se producirán daños graves debido a una falla del depósito.
2. Caso B: si se prevé que no se producirán daños graves debido a una falla del depósito.
3. Para aquellos ingenieros que realicen un análisis pseudoestático y que quieren ver que su diseño tiene un factor de seguridad mayor que 1.00, el valor recomendado de coeficiente sísmico (K_h) varía entre 1/2 a 2/3 del PGA (MEM, 1997).

De acuerdo con la situación actual del DME 15, este será construido mediante un diseño de ingeniería a nivel de detalle, con control de calidad en campo (supervisión) y finalmente se espera se elabore un informe de construcción y planos As Built. Asimismo, se observa que la huella del DME se encuentra a una distancia prudente de 60 m de la quebrada más próxima en el pie. Sin embargo, a este nivel no se puede conocer exactamente si se producirán daños severos como consecuencia de falla en el DME, de manera conservadora se asume el caso I de la Tabla 53. Sin embargo, se recomienda verificar esta valoración luego de realizar un análisis de deformaciones simplificado o con métodos numéricos.

En resumen, para el DME 15 los factores de seguridad mínimo según la guía peruana del MEM (1997) son los siguientes que se presentan en la Tabla 54.

Tabla 54

Factores de seguridad mínimos requeridos para el DME 15 según la guía ambiental peruana del MEM

Estructura	Suposición	Factor de seguridad
DME 15	Condiciones estáticas	1.50
	Condiciones pseudoestáticas	1.00

Nota. Elaboración propia.

Cabe mencionar que no se está considerando la condición postsismo, dado que no se tiene evidencia de susceptibilidad a la licuación de algún estrato de la fundación o del material de desmonte.

5.5.1.2.3 Guía internacional de la CDA.

Actualmente, se tiene una guía internacional denominada “Application of Dam Safety Guidelines to Mining Dams” elaborado por la Canadian Dam Association [CDA] (2019), que como dice su nombre es aplicable a presas de relave, sin embargo, se toma de referencia para la determinación de criterios de estabilidad física.

Un aspecto importante que recalca la guía es determinar inicialmente la clasificación por consecuencia de falla de la estructura basado en el riesgo a la población, pérdida de vidas, impacto ambiental, cultural, a la infraestructura y

económico que podría generar su falla, y a partir de la clasificación de la estructura poder definir el sismo de diseño, como se muestra en la siguiente Tabla 55.

Tabla 55

Sismo de diseño con base en la clasificación de la presa según la guía de la CDA

Clasificación de Presa	Mínimo Factor de Seguridad ⁽¹⁾
Bajo	1/100 AEP
Significante	Entre 1/100 y 1/1000
Alto	1/2475
Muy Alto	1/2 Entre 1/2475 ⁽²⁾ y 1/10000 o MCE ⁽³⁾
Extrema	1/10000 o MCE ⁽³⁾

Nota. Traducido de la (CDA, 2019).

Abreviaturas:

MCE: Terremoto máximo creíble (TMC) o MCE por sus siglas en inglés

AEP: Probabilidad anual de excedencia (PAE) o AEP por sus siglas en inglés

1. Se deben utilizar los valores del rango estimado en los niveles de AEP sismos. Los sismos con el AEP como se define anteriormente se ingresan como sismos contribuyentes para desarrollar los Parámetros de Movimiento del Suelo de Diseño (EDGM, por sus siglas en inglés) como se describe en la Sección 6.5 de la Guía de Seguridad de Presas de la CDA (2013).

2. Este nivel ha sido seleccionado por coherencia con los niveles de diseño sísmico indicados en el Código Nacional de Construcción de Canadá.

3. El MCE no está asociado a una AEP.

En cuanto a los factores de seguridad para una evaluación estática de la estabilidad de taludes, la CDA brinda el siguiente resumen. Véase la Tabla 56.

Tabla 56

Factores de seguridad mínimos para la evaluación estática de la estabilidad de taludes según la CDA

Condición de carga	Mínimo Factor de Seguridad ⁽¹⁾	Talud
Fin de la construcción antes del llenado del depósito	1.30	Aguas arriba y aguas abajo
Largo plazo (filtración en estado estacionario, nivel normal de embalse)	1.50	Aguas abajo
Desembalse rápido parcial o total	1.20 – 1.30 ⁽²⁾	Aguas arriba

Nota. Traducido de la (CDA, 2019).

1. El factor de seguridad es el factor necesario para reducir los parámetros operativos de resistencia al corte para llevar una masa deslizante potencial a un estado de equilibrio límite (utilizando métodos de análisis generalmente aceptados).
2. Es posible que se requieran factores de seguridad más altos si el desembalse ocurre con relativa frecuencia durante la operación normal.

En cuanto a los factores de seguridad para una evaluación sísmica de la estabilidad de taludes, la CDA brinda el siguiente resumen. Véase la Tabla 57.

Tabla 57

Factores de seguridad mínimos para la evaluación sísmica de la estabilidad de taludes según la CDA

Condición de carga	Mínimo Factor de Seguridad
Pseudoestático	1.00
Post-sismo	1.20

Nota. Traducido de la (CDA, 2019).

En resumen, para el DME 15 los factores de seguridad mínimo según la guía CDA (2019) son los siguientes que se presentan en la Tabla 58.

Tabla 58

Factores de seguridad mínimos requeridos para el DME 15 según la guía CDA

Estructura	Suposición	Factor de seguridad
DME 15	Condiciones estáticas	1.50
	Condiciones pseudoestáticas	1.00

Nota. Elaboración propia.

Finalmente, en base a los resultados obtenidos en la Tabla 52, Tabla 54 y Tabla 58 se tomarán los siguientes factores de seguridad mínimos para las alternativas de planteamiento de diseño geotécnico para el DME 15, los cuales se muestran en la siguiente Tabla 59.

Tabla 59

Criterios de estabilidad física para las alternativas de planteamiento de diseño geotécnico para el DME 15

Descripción	Valor	Fuente
Factor de seguridad estático mínimo	1.50 ¹	MEM (1997) CDA (2019)
Factor de seguridad pseudoestático mínimo	1.05 ²	Hawley & Cuning (2017)
Factor de seguridad pseudoestático < 1.05	Análisis simplificado de deformaciones ³	Hawley & Cuning (2017)
Máxima deformación permitida	1.0% ^{2, 4}	Hawley & Cuning (2017)

Nota. Elaboración propia.

1. Se está considerando 1.50 para un análisis a largo plazo.
2. Se recomienda verificar la valoración de "moderado" de este criterio luego de definir la propuesta de diseño geotécnico del DME 15 y realizar un análisis de deformaciones con métodos simplificados o con métodos numéricos.
3. Se debe indicar que un factor de seguridad pseudoestático menor a 1.05 no significa que la estructura se moverá excesivamente durante un terremoto. Lo que probablemente ocurrirá es que se produzcan desplazamientos permanentes, asociados al terremoto de diseño. De acuerdo con la metodología de Hawley & Cuning (2017), en caso no se cumpla los factores de seguridad en la condición pseudoestática se recomienda realizar un análisis de deformaciones simplificado, asimismo, realizar este tipo de análisis adicional en un depósito de desmonte es mencionado por el MEM (2023) en su anexo N°41 del decreto supremo N°034-2023-EM y recomienda emplear el método de Bray, Travarasrou y Macedo o Makdisi y Seed.
4. Según Hawley & Cuning (2017), es posible lograr una evaluación simplificada y conservadora del potencial desplazamiento o deformación que podría suceder durante un suceso sísmico mediante diversos métodos de deformaciones simplificados. Para cumplir con estos criterios de aceptación, las estimaciones de desplazamiento o deformación obtenidas mediante estos procedimientos pueden transformarse en una deformación "equivalente", dividiendo el desplazamiento o deformación acumulada calculada por la longitud de la superficie de falla crítica y expresando el resultado en términos porcentuales. Si no se tiene claro la longitud de la superficie de falla crítica o no es sencillo determinar, la longitud total de la pendiente o la altura del terraplén puede ser empleada como una estimación conservadora de la longitud de la superficie de falla crítica (Hawley & Cuning, 2017). Para la combinación de confianza y consecuencia moderadas se le asigna una máxima deformación permitida de 1.0%.

En conclusión, los criterios geotécnicos para las alternativas como planteamiento de diseño geotécnico para el DME 15 se compilan en la siguiente Tabla 60.

Tabla 60

Criterios de diseño geotécnico para las alternativas como planteamiento de diseño geotécnico para el DME 15

Descripción	Unidad	Valor	Fuente
Criterios sísmicos			
Clasificación sísmica de la fundación	-	Suelo tipo B ($V_{s30} = 827$ m/s)	CSOCH (2019d)
Sismo de diseño	años	475	MEM (1997) MVCS (2018) Hawley & Cuning (2017)
Aceleración máxima del terreno (PGA)	g	0.35	MVCS (2018)
Formulación para determinar el coeficiente sísmico	-	1/2 PGA	MEM (1997) Hynes-Griffin & Franklin (1984) Marcuson (1981)
Coeficiente sísmico	kh	0.18	Propuesto
Criterios de estabilidad física			
Factor de seguridad estático mínimo	-	1.50 ¹	MEM (1997) CDA (2019)
Factor de seguridad pseudoestático mínimo	-	1.05 ²	Hawley & Cuning (2017)
Factor de seguridad pseudoestático < 1.05	-	Análisis simplificado de deformaciones ³	Hawley & Cuning (2017)
Máxima deformación permitida	%	1.0% ^{2, 4}	Hawley & Cuning (2017)

Nota. Elaboración propia.

1. Se está considerando 1.50 para un análisis a largo plazo.
2. Se recomienda verificar la valoración de “moderado” de este criterio luego de definir la propuesta de diseño geotécnico del DME 15 y realizar un análisis de deformaciones con métodos simplificados o con métodos numéricos.
3. Se debe indicar que un factor de seguridad pseudoestático menor a 1.05 no significa que la estructura se moverá excesivamente durante un terremoto. Lo que probablemente ocurrirá es que se produzcan desplazamientos permanentes, asociados al terremoto de diseño. De acuerdo con la metodología de Hawley & Cuning (2017), en caso no se cumpla los factores de seguridad en la condición pseudoestática se recomienda realizar un análisis de deformaciones simplificado, asimismo, realizar este tipo de análisis adicional en un depósito de desmonte es mencionado por el MEM (2023) en su anexo N°41 del decreto supremo N°034-2023-EM y recomienda emplear el método de Bray, Travararou y Macedo o Makdisi y Seed.
4. Según Hawley & Cuning (2017), es posible lograr una evaluación simplificada y conservadora del potencial desplazamiento o deformación que podría suceder durante un suceso sísmico mediante diversos métodos de deformaciones simplificados. Para cumplir con estos criterios de

aceptación, las estimaciones de desplazamiento o deformación obtenidas mediante estos procedimientos pueden transformarse en una deformación "equivalente", dividiendo el desplazamiento o deformación acumulada calculada por la longitud de la superficie de falla crítica y expresando el resultado en términos porcentuales. Si no se tiene claro la longitud de la superficie de falla crítica o no es sencillo determinar, la longitud total de la pendiente o la altura del terraplén puede ser empleada como una estimación conservadora de la longitud de la superficie de falla crítica (Hawley & Cuning, 2017). Para la combinación de confianza y consecuencia moderadas se le asigna una máxima deformación permitida de 1.0%.

5.5.2 Análisis de estabilidad estático

Como sub paso 4.2 se realizó el análisis de estabilidad estático, donde se toman en cuenta las fuerzas actuantes y resistentes bajo circunstancias normales o estáticas, es decir, sin el impacto de fuerzas que provocan el desplazamiento del suelo, como la acción sísmica. Este factor de seguridad se presupone que es constante en todos los puntos a lo largo de la superficie de falla, por lo que este valor simboliza un promedio del valor total en toda la superficie de falla (Gaviria & Suárez, 2019). Se desarrolla a continuación.

5.5.2.1 Metodología de análisis.

El cálculo del factor de seguridad se realiza de forma bidimensional mediante el método de equilibrio límite, utilizando dovelas para determinar las superficies de falla. Aunque existen varios métodos de equilibrio límite, en esta investigación se ha adoptado el método de Spencer (1967), el cual cumple con el equilibrio de las fuerzas verticales y horizontales, así como el equilibrio de momentos.

Como herramienta de análisis, se empleó el software Slide versión 6.005, desarrollado por la empresa Rocscience (2010). Este programa ofrece un entorno completamente integrado para el análisis de estabilidad de taludes, permitiendo la construcción interactiva de la geometría del talud y la definición de los tipos y propiedades de los materiales de forma intuitiva y fácil de usar (Gobierno Regional de Ancash, 2022).

Es importante señalar que la superficie de falla crítica se define como aquella que presenta el menor factor de seguridad. Esta fue determinada de manera interactiva, ajustando las condiciones de búsqueda y evaluando tanto superficies de falla circulares como no circulares. En cuanto a las hipótesis del

análisis, se asume que los materiales que componen las distintas estructuras estudiadas son homogéneos e isotrópicos, y que el colapso ocurriría debido a fallas simultáneas a lo largo de la superficie de deslizamiento. Asimismo, cada material posee propiedades y características físicas y mecánicas específicas (Luque, 2021).

5.5.2.2 Condición de análisis.

Este análisis considera como fuerzas desestabilizadoras actuantes, esfuerzos producidos por el peso propio del DME y nivel freático.

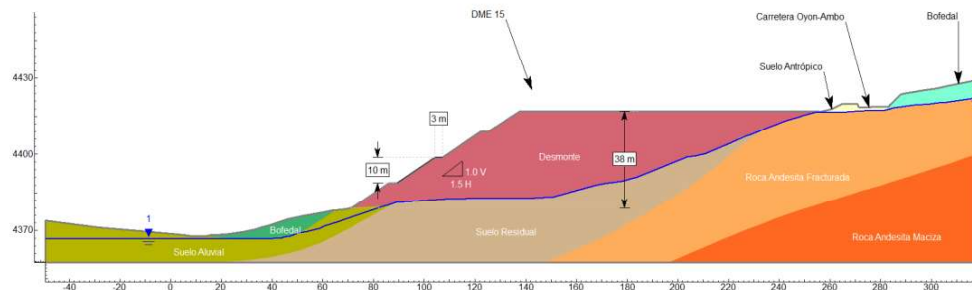
En esta condición, las resistencias cortantes del suelo pueden tener un comportamiento drenado o no drenado dependiendo de la capacidad de disipación de presión de poros de los materiales en el momento de la falla. Para nuestro DME se ha considerado a los materiales con un comportamiento drenado y se considera un factor de seguridad mínimo de 1.50 de acuerdo con el MEM (1997).

5.5.2.3 Sección de análisis.

Se consideró la sección crítica B-B descrita en la sección 4.3.2. Asimismo, como ejemplo, se presenta el armado del modelo geotécnico de la alternativa 2 en la siguiente Figura 37. De manera análoga, se desarrolló el modelo geotécnico de las alternativas 1 y 3 que se muestran en el anexo 2.

Figura 36

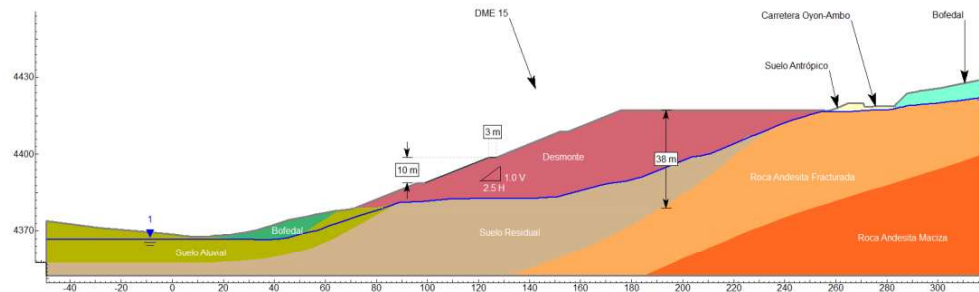
Modelo geotécnico de la alternativa 1 del planteamiento de diseño geotécnico para el DME 15, sección B-B



Nota. Elaboración propia.

Figura 37

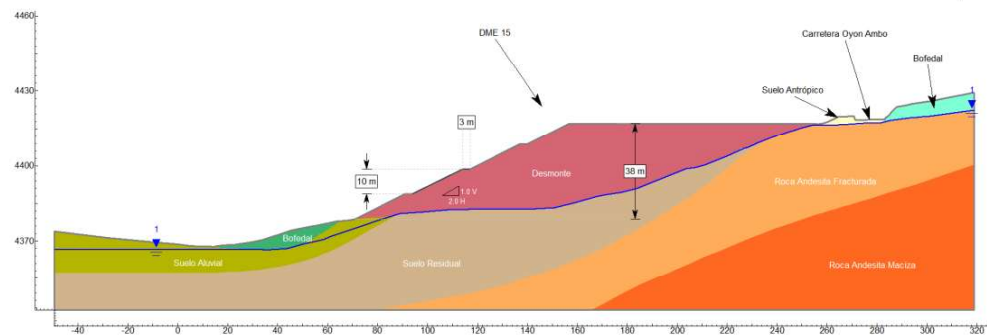
Modelo geotécnico de la alternativa 2 del planteamiento de diseño geotécnico para el DME 15, sección B-B



Nota. Elaboración propia.

Figura 38

Modelo geotécnico de la alternativa 3 del planteamiento de diseño geotécnico para el DME 15, sección B-B



Nota. Elaboración propia.

5.5.2.4 Nivel freático.

Se consideró el nivel freático sobre la capa del sistema de subdrenaje como se evidencia en la Figura 37 y se detalló en la sección 5.4.3.

5.5.2.5 Consideraciones de análisis.

- La sección crítica analizada es la sección B-B, estructurada en base a la sección geotécnica A-A, paralela a la sección B-B.
- Se han analizado superficies de falla globales no circulares, que atraviesan el cuerpo del desmonte y la fundación de la estructura.
- El método de búsqueda de la superficie de falla es auto refine search.

- Las condiciones de presiones de poros fueron estimadas asumiendo un nivel freático ubicado sobre la capa del sistema de subdrenaje, como condición crítica.
- Para fines de análisis de estabilidad de taludes se asumió que el material de desmonte es drenante basado en los ensayos de permeabilidad in situ, y no generaría una superficie freática.
- No se ha considerado el análisis postsismo, dado que ningún estrato es susceptible a la licuación (CSOCH, 2019d).

5.5.2.6 Propiedades de resistencia.

En la Tabla 61 se resumen los parámetros de resistencia utilizados en el modelo geotécnico del DME 15 para los análisis de estabilidad física.

Tabla 61

Resumen de la caracterización geotécnica del DME 15

Unidad Geotécnica	Material	Peso Unitario (kN/m ³)	Parámetros de resistencia	
			Cohesión c' (kN/m ²)	Ángulo de Fricción ϕ' (°)
I	Suelo Antrópico ¹	16	0	16
II	Suelo Topsoil ¹	15	5	16
IIIa	Bofedal con agua permanente ¹	17	5	20
IIIb	Bofedal temporal ¹	17	5	20
IV	Suelo Fluvioglacial ¹	18	0	30
V	Suelo Aluvial ¹	17	0	32
VI	Suelo Residual ²	16.3	0	32.2
VII	Suelo Coluvial ¹	18	10	24
VIII	Roca Andesita Fracturada ²	23.6	38	230
IX	Roca Andesita Maciza ²	23.6	58	700
X	Desmonte ²	22.4	27	38

Nota. Elaboración propia, con base en la información de (CSOCH, 2019d).

1. En base a bibliografía relacionada.

2. Sustentado en base a ensayos de campo y laboratorio.

3. La caracterización geotécnica realizada se limita a la cantidad de información disponible, se recomienda para los siguientes DME de la carretera Oyon Ambo desarrollar mayor cantidad de ensayos de campo como calicatas, geofísica, perforaciones, ensayos triaxiales, etc de acuerdo con el nivel de riesgo del DME 15.

5.5.2.7 Resultados.

En la siguiente Tabla 62, Figura 39, Figura 40 y Figura 41 se muestra los resultados del análisis de estabilidad de la condición estática de las alternativas

de planteamiento de diseño geotécnico para el DME 15. Asimismo, las figuras del análisis de estabilidad se detallan en el anexo 2.

Tabla 62

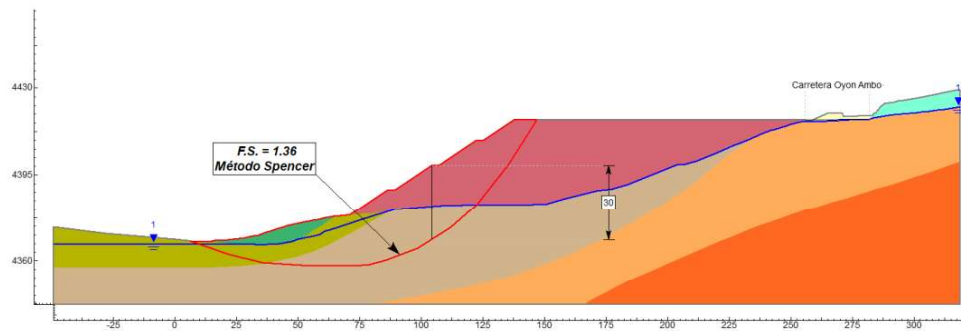
Resultados del análisis de estabilidad estático de las alternativas de planteamiento de diseño geotécnico para el DME 15

Diseño	Sección de Análisis	Condición de análisis	Tipo de superficie de falla	Factor de Seguridad		Figura Asociada
				FS	FS _{min}	
Alternativa 1 (Taludes locales 1.5 H: 1 V)	B-B	Estático	Global – No Circular	1.36	1.50	B-2
Alternativa 2 (Taludes locales 2.5 H: 1 V)	B-B	Estático	Global – No Circular	1.61	1.50	B-5
Alternativa 3 (Taludes locales 2.0 H: 1 V)	B-B	Estático	Global – No Circular	1.49	1.50	B-8

Nota. Elaboración propia.

Figura 39

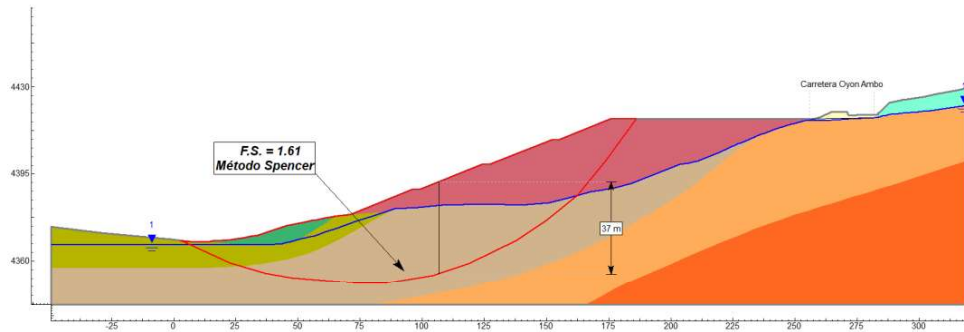
Análisis de estabilidad estático de la alternativa 1 de planteamiento de diseño geotécnico para el DME 15



Nota. Elaboración propia.

Figura 40

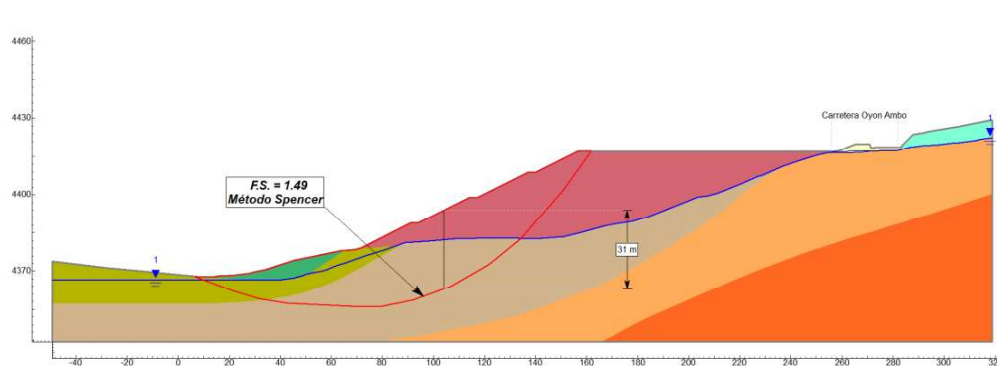
Análisis de estabilidad estático de la alternativa 2 de planteamiento de diseño geotécnico para el DME 15



Nota. Elaboración propia.

Figura 41

Análisis de estabilidad estático de la alternativa 3 de planteamiento de diseño geotécnico para el DME 15



Nota. Elaboración propia.

Con base en los resultados se observa que el factor de seguridad estático de las alternativas 1 y 3 como planteamientos de diseño geotécnico para el DME 15 resultaron menores al mínimo requerido por tanto son diseños inestables y no aceptables. Mientras que el factor de seguridad de la alternativa 2 como planteamiento de diseño geotécnico para el DME 15 resultó mayor al mínimo requerido, por tanto, es estable en la condición estática y para esta alternativa se procede a realizar el sub paso 4.3 de la metodología de Hawley & Cuning (2017).

5.5.3 Análisis de estabilidad pseudoestático

En este sub paso 4.3 se mantiene la metodología, sección de análisis, nivel freático, parámetros de resistencia y consideraciones de análisis del sub paso 4.2. Se desarrolla a continuación.

5.5.3.1 Condición de análisis.

Este análisis permite de manera aproximada evaluar el comportamiento de una estructura ante la acción de un sismo, lo cual, en la mayoría de las situaciones incrementa las fuerzas que provocan la inestabilidad del talud (Gaviria & Suárez, 2019).

Se considera que en los análisis pseudoestáticos, la masa implicada en el sismo se encuentra expuesta a una aceleración horizontal equivalente a un coeficiente sísmico multiplicado por la aceleración de la gravedad, con el propósito de considerar el impacto de las fuerzas inerciales generadas por el sismo de diseño. En este escenario, las resistencias de corte del suelo pueden presentar un comportamiento drenado o no drenado, dependiendo de la capacidad de los materiales para disipar la presión en los poros durante el momento de la falla (Arredondo, 2023).

Para nuestro DME 15 se ha considerado un comportamiento drenado, y un factor de seguridad mínimo de 1.05 de acuerdo con Hawley & Cuning (2017).

5.5.3.2 Resultados.

En la siguiente Tabla 63 y Figura 39 se muestran los resultados del análisis de estabilidad de la condición pseudoestática de la alternativa 2 como planteamiento de diseño geotécnico para el DME 15. Asimismo, las figuras del análisis de estabilidad se detallan en el anexo 2.

Tabla 63

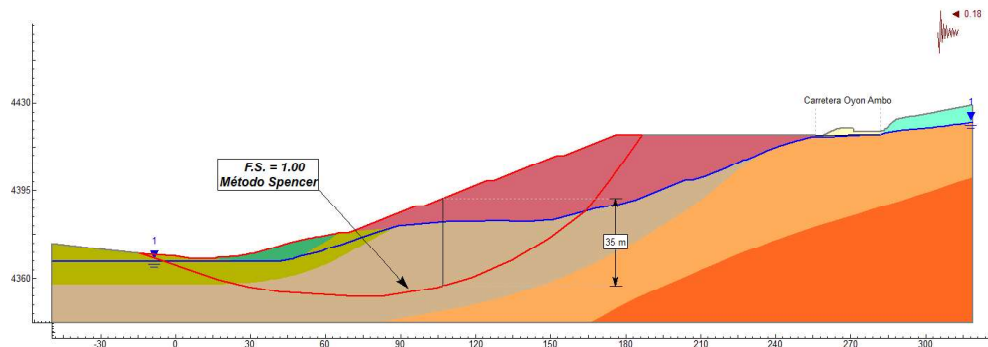
Resultados del análisis de estabilidad pseudoestático de las alternativas de planteamiento de diseño geotécnico para el DME 15

Diseño	Sección de Análisis	Condición de análisis	Tipo de superficie de falla	Factor de Seguridad		Figura Asociada
				FS	FS _{min}	
Alternativa 2 (Taludes locales 2.5 H: 1 V)	B-B	Pseudoestático	Global – No Circular	1.00	1.05	B-6

Nota. Elaboración propia. Cabe mencionar que para las Alternativas 1 y 3, de manera complementaria también se desarrolló su análisis pseudoestático, y se presentan en las Figuras B-3 y B-9 del anexo 2.

Figura 42

Análisis de estabilidad pseudoestático de la alternativa 2 de planteamiento de diseño geotécnico para el DME 15



Nota. Elaboración propia.

Con base en los resultados se observa que el factor de seguridad pseudoestático es menor al factor de seguridad mínimo requerido, por tanto, Hawley & Cunning (2017) indica realizar un análisis de deformaciones simplificado y evaluar las deformaciones respecto al máximo permitido, esto se detalla en la siguiente sección 5.5.4.

5.5.4 Análisis de deformaciones simplificado

Como sub paso 4.4 se realiza un análisis de deformaciones simplificado para la alternativa 2 para el DME 15. Se desarrolla a continuación.

5.5.4.1 Metodología.

Según Macedo, Bray & Liu (2023) (en adelante, Macedo et al. (2023)) la falla de los sistemas de taludes (por ejemplo, presas de tierra, rellenos de desechos, taludes naturales) durante un terremoto puede producir pérdidas significativas. En consecuencia, es necesario evaluar el comportamiento sísmico de las estructuras. La evaluación del desempeño sísmico de los sistemas de taludes varía desde el uso de procedimientos pseudoestáticos sencillos hasta análisis avanzados de diferencias finitas de esfuerzos efectivas no lineales. Por tanto, el desempeño de la estructura debe evaluarse mediante una evaluación del potencial de desplazamiento permanente inducido sísmicamente.

Dado que lo que domina el entorno sísmico del DME 15 son los sismos de subducción de intraplaca de acuerdo con el EPS de Cesel-Sigt (2015), se empleará el método de Macedo et al. (2023) para la estimación del desplazamiento sísmico de taludes inducidos por corte (deviatóricos), el cual es una actualización del método de Bray, Macedo & Travarasrou (2018). Este último es recomendado por el MINEM (2023) para un depósito de desmonte de mina en su anexo 41 del D.S. 034-2023-EM, sin embargo, usaremos su versión más actualizada de Macedo et al. (2023).

Los autores de esta metodología proponen una relación probabilística semiempírica que permiten estimar desplazamientos permanentes, la cual está en función de los siguientes parámetros: coeficiente de fluencia (k_y), periodo fundamental del bloque deslizante (T_s), aceleración espectral en el suelo correspondiente a un periodo degradado tomado como ($S_a(1.3 T_s)$) y ($S_a(1.5 T_s)$) y la magnitud del sismo (M_w).

El procedimiento de aplicación de esta metodología puede ser revisada en detalle en el documento “*Seismic slope displacement procedure for interface and intraslab subduction zone earthquakes*” de Macedo et al. (2023). La Ecuación 1 predictiva es la siguiente:

$$\ln(D) = a_0 + a_1 \ln(k_y) + a_2 (\ln(k_y))^2 + a_3 \ln(k_y) \ln(S_a(1.3T_s)) + a_4 \ln(S_a(1.3T_s)) + a_5 (\ln(S_a(1.3T_s)))^2 + a_6 T_s + a_7 (T_s)^2 + a_8 M_w + \varepsilon \quad (1)$$

Donde:

k_y	Coeficiente de fluencia
M_w	Magnitud del sismo
T_s	Periodo fundamental del bloque deslizante (s); $T_s = 2.6H/V_s$
$S_a(1.3 T_s)$	Aceleración espectral en el suelo correspondiente al periodo de $1.3 T_s$ (g)
ε	Variable aleatoria con distribución normal
D	Desplazamiento inducido por el sismo
$a_1, a_2, a_3, a_4, a_5, a_8$	Constantes determinadas, donde $a_1 = -2.21$; $a_2 = -0.20$; $a_3 = 0.22$; $a_4 = 2.31$, $a_5 = -0.02$ y $a_8 = 0.50$
a_0, a_6, a_7	Constantes que dependen de T_s Si $T_s \geq 0.10$, entonces: $a_0 = -5.27$; $a_6 = 3.63$ y $a_7 = -1.10$ $T_s < 0.10$, entonces: $a_0 = -4.13$; $a_6 = -9.45$ y $a_7 = 0.00$

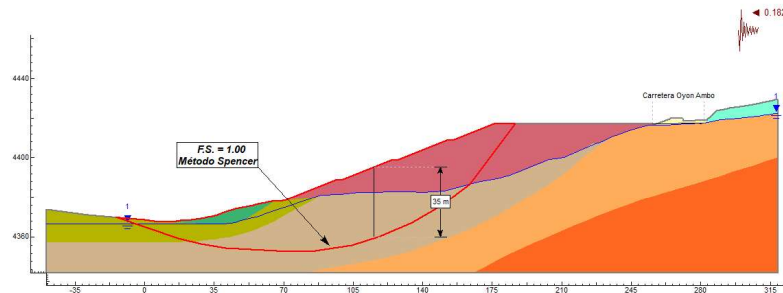
Es importante indicar que, los resultados obtenidos de deformaciones a partir de metodologías simplificadas deben tomarse como una aproximación de alto nivel, recomendándose que estos sean verificados a partir de un modelamiento numérico de deformaciones dinámicas.

5.5.4.2 Coeficiente de fluencia.

Se realizaron análisis de estabilidad pseudoestáticos por equilibrio límite, utilizando método de Spencer, y considerando las propiedades de los materiales mostrados en la Tabla 30. El valor del coeficiente de fluencia (k_y) se estimó variando el coeficiente sísmico hasta obtener un factor de seguridad (FS) pseudoestático de 1.00, esto se resumen en la siguiente Tabla 64 (véase también la Figura 43).

Figura 43

Determinación del coeficiente de fluencia



Nota. Elaboración propia.

Tabla 64

Coeficiente de fluencia para el DME 15

FS pseudostático	Coeficiente de fluencia K_y	Altura máxima vertical de la superficie de falla H (m)	Longitud de recorrido de la superficie de falla (m)
1.00	0.182	35	231

Nota. Elaboración propia.

5.5.4.3 Periodo fundamental.

Los periodos fundamentales de las superficies de falla se estimaron con base en los diagramas y ecuaciones recomendadas por Bray et al. (2023). El cual se considera como H , la altura máxima de una línea vertical que cabe dentro de la masa deslizante. Para el cálculo del periodo fundamental bidimensional de la masa deslizante se empleó la siguiente Ecuación 2. Y se consideró la Figura 44.

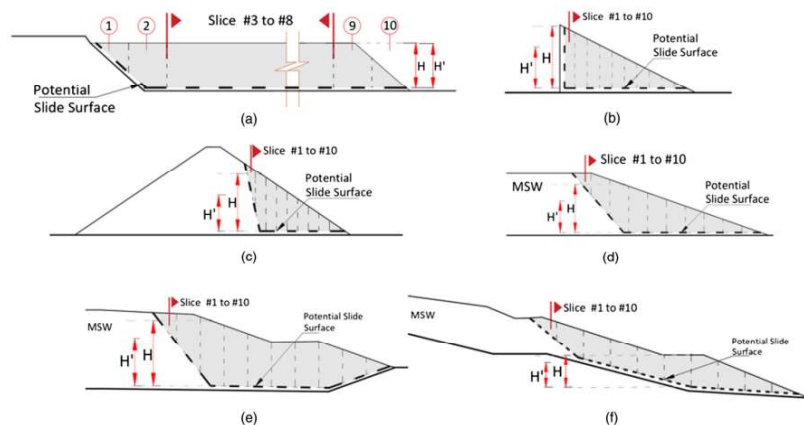
$$T_s = \frac{2.6H}{V_s} \quad (2)$$

Donde:

- T_s Período fundamental de la masa deslizante
- H Altura de la masa deslizante
- V_s Velocidad de ondas de corte promedio de la masa deslizante

Figura 44

Superficies de falla



Nota. Obtenido de (Macedo et al., 2023).

Para estimar el V_s promedio se consideró al suelo residual con un V_s promedio de 560 m/s, de acuerdo con la Tabla 41, además, se consideró al desmonte un V_s promedio de 400 m/s, al suelo aluvial un V_s promedio de 300 m/s y al suelo bofedal un V_s promedio de 150 m/s ello de acuerdo con bibliografía de proyectos similares. Asimismo, se consideró las áreas que representan cada material en la superficie de falla global no circular (véase la Figura 43), todo ello se resume en la siguiente Tabla 65. Finalmente, el cálculo del periodo fundamental del bloque deslizante se resume en la Tabla 66.

Tabla 65

Cálculo de V_s promedio de la masa deslizante

Material	V_s prom (m/s)	Área (A_i) (m ²)	$V_{si} \times A_i$
Desmonte	300	1692	507600
Suelo residual	250	2146	536500
Suelo aluvial	200	595	119000
Suelo bofedal	150	184	27600
Promedio		4617	1190700
V_s promedio			258 m/s

Nota. Elaboración propia.

Tabla 66

Cálculo de periodo fundamental del bloque deslizante

Estructura	Sección	Altura máxima vertical de la superficie de falla H (m)	Vel. de ondas de corte V_s (m/s)	Periodo fundamental T_s (s)
DME 15	B-B	35	258	0.353

Nota. Elaboración propia.

5.5.4.4 Espectro de respuesta y factor de amplificación.

El presente análisis de manera conservadora ha considerado el sismo máximo creíble (MCE) del estudio de peligro sísmico de Cesel-Sigt (2015) como el evento de diseño que generaría las mayores aceleraciones en el DME 15, el cual corresponde a un sismo de subducción intraplaca, de magnitud M 7.8. Sin embargo, dado que no se plasmó el espectro de respuesta para el MCE en suelo

tipo B en el Estudio de Peligro Sísmico de Cesel-Sigt (2015b), se empleará de manera aproximada el espectro de respuesta para un periodo de retorno de 2475 años, referido a un espectro de respuesta con 5% de amortiguamiento crítico determinado para un 2% de probabilidad de excedencia en 50 años de vida útil.

El método de Macedo et al. (2023), requiere como parámetro de entrada la aceleración espectral para el periodo fundamental degradado [$S_a(1.3T_s)$], el cual se determinó empleando el espectro de respuesta de aceleraciones amplificado.

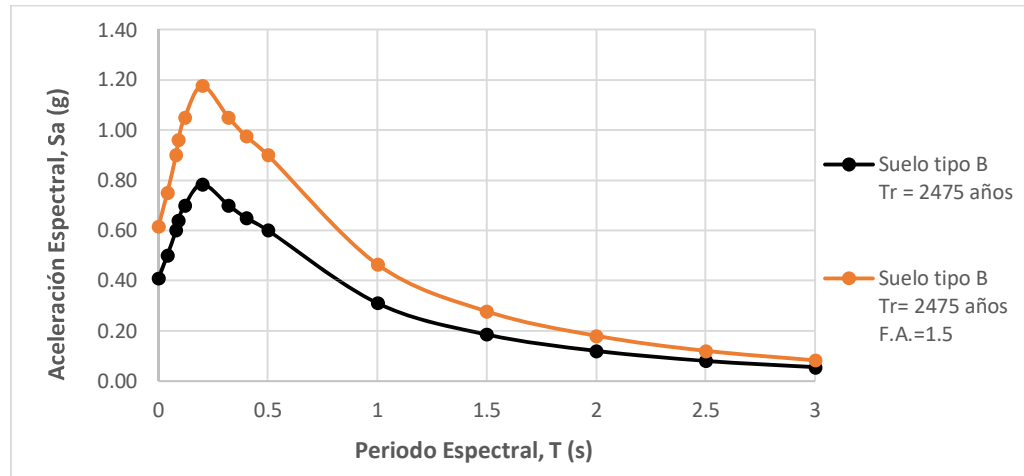
Para el análisis, se consideraron factores de amplificación (F.A.) del espectro de respuesta, dado que el movimiento de entrada en la fundación puede amplificarse para la masa deslizante.

La clasificación sísmica de la fundación del DME 15 es un suelo tipo B, de acuerdo con el ICC (2012), dado que el V_{s30} es 827 m/s, y tipo S_1 , de acuerdo con la norma E030 del MVCS (2018); mientras que la masa deslizante es un suelo tipo C, de acuerdo con el ICC (2012), dado que $V_{s_{prom}} = 258$ m/s y tipo S_2 , de acuerdo con la norma E030 del MVCS (2018). En base a lo anterior y considerando la zona sísmica Z3 dónde se ubica el DME 15, la norma E030 del MVCS (2018) recomienda una amplificación de 1.15 de suelo S_1 a S_2 .

Sin embargo, dado de que no se tiene ensayos geofísicos en el material de desmonte y existe incertidumbre en las velocidades de ondas de corte, se consideró un factor de amplificación sísmica (F. A.) de 1.50 (véase la Figura 45).

Figura 45

Espectros de respuesta empleados en el análisis de deformaciones simplificado



Nota. Basado en la data de (Cesel-Sigt, 2015b).

5.5.4.5 Resumen de datos de entrada.

A continuación, la Tabla 67 presenta un resumen de los parámetros de entrada considerados en el análisis de deformaciones simplificado según la metodología de Macedo et al. (2023).

Tabla 67

Parámetros de entrada para el análisis de deformaciones simplificado

Estructura	H (m)	k_y	V_s (m/s)	T_s (s)	Espectro de respuesta amplificado			$[S_a(1.3 T_s)]$ (g)
					M_w	(F. A.)	PGA (g)	
DME 15	35	0.182	258	0.353	7.8	1.50	0.62	0.936

Nota. Elaboración propia. Abreviaturas:

H : Altura máxima vertical de la superficie de falla

k_y : Coeficiente de fluencia

V_s : Velocidad de ondas de corte

T_s : Periodo fundamental del bloque deslizando

M_w : Magnitud del sismo

F. A.: Factor de amplificación

PGA: Aceleración máxima del terreno

5.5.4.6 Resultados.

En la siguiente Tabla 68 se resume los desplazamientos estimados con el método simplificado de Macedo et al. (2023) para la alternativa 2 de diseño geotécnico para el DME 15.

Tabla 68

Deformaciones estimados para la alternativa 2

Estructura	Sección	Evento de diseño	Probabilidad de desplazamiento nulo	Desplazamiento promedio (cm)
DME 15	B-B	MCE ^{1,2}	0%	31.5

Nota. Elaboración propia. Basado en el método de (Macedo et al., 2023).

1. Se consideró el MCE como evento de diseño, condición más crítica para el DME 15. Sin embargo, como tal el sismo de diseño es 475 años.
2. Dado que no se plasmó el espectro de respuesta para el MCE en suelo tipo B por Cesel – Sigst (2015), se empleará de manera aproximada el espectro de respuesta para un $T_r = 2$ 475 años.

Adicionalmente, se puede decir que el posible desplazamiento promedio de la masa deslizante del DME 15 es de 31.5 cm, lo cual no afectaría al cauce de agua de 3 m de ancho ubicado a 60 m del pie del DME 15 (véase la Figura 32). Asimismo, en la siguiente Tabla 69 se resume la deformación obtenida para la alternativa 2 respecto a la máxima permitida según Hawley & Cuning (2017).

Tabla 69

Deformación obtenida de la alternativa 2 como planteamiento de diseño geotécnico para el DME 15

Desplazamiento promedio D (cm)	Longitud de recorrido de la superficie de falla L (m)	Deformación obtenida (D/L) ¹ %	Deformación máxima Permitida (DMP) %
31.2	231	0.14	1.00

Nota. Elaboración propia.

1. De acuerdo con la metodología de Hawley & Cuning, la deformación obtenida es la correlación del desplazamiento obtenido de manera simplificada (D) entre la longitud de recorrido de la superficie de falla (L) y es medido el porcentaje (%).
2. La deformación máxima permitida para una confianza y consecuencia moderada es de 1.00% de acuerdo con la metodología de Hawley & Cuning (2017).

De acuerdo con los resultados, la deformación obtenida de 0.14% mediante el método simplificado de Macedo et al. (2023) es menor a la deformación máxima permitida (DMP) (1.00%), por lo tanto, se cumple el criterio de deformaciones.

Finalmente, los resultados del análisis de estabilidad y deformaciones del paso 4.4 de las tres (03) alternativas planteadas como diseño geotécnico para el DME 15 se resume en la siguiente Tabla 70.

Tabla 70

Resultados del análisis de estabilidad y deformaciones de las alternativas planteadas como diseño geotécnico para el DME 15

Alternativas	FS Estático (FS mín = 1.50)	FS Pseudoestático (FS mín = 1.05)	% Deformación (DMP = 1.00 %)
Alternativa 1 (Taludes locales 1.5 H: 1 V)	1.36	-	-
Alternativa 2 (Taludes locales 2.5 H :1 V)	1.61	1.00	0.14
Alternativa 3 (Taludes locales 2.0 H: 1 V)	1.49	-	-

Nota. Elaboración propia.

5.6 Verificación del planteamiento

Siguiendo el procedimiento de la Figura 11, este paso 5 permite realizar la verificación de los criterios de aceptabilidad de las alternativas planteadas como diseño geotécnico para el DME 15 en base a los resultados del análisis de estabilidad y deformaciones y concluir con la propuesta de diseño geotécnico.

Entonces, a partir de los resultados de la Tabla 70 y siguiendo la metodología de Hawley & Cuning (2017), se puede concluir que la alternativa 2 cumple con los criterios de aceptabilidad. Por tanto, la alternativa 2 se convierte en una propuesta de diseño geotécnico aceptable para el DME 15 de la carretera Oyon Ambo, esto se detalla en la siguiente Tabla 71.

Tabla 71

Verificación de los criterios de aceptabilidad de las alternativas planteadas como diseño geotécnico para el DME 15, según la metodología de Hawley - Cunning

Alternativas	¿Cumple el Criterio de Estabilidad Estático?	¿Cumple el Criterio de Estabilidad Pseudoestático?	¿Cumple el Criterio de Deformaciones?	Verificación
Alternativa 1 (Taludes locales 1.5 H : 1 V)	No	-	-	Diseño no aceptable
Alternativa 2 (Taludes locales 2.5 H: 1 V)	Si	No	Si	Diseño aceptable
Alternativa 3 (Taludes locales 2.0 H: 1 V)	No	-	-	Diseño no aceptable

Nota. Elaboración propia.

5.7 Clasificación de estabilidad y clase de peligro

Siguiendo el procedimiento de la Figura 12, este paso permite realizar la clasificación de estabilidad y clase de peligro de la propuesta de diseño geotécnico para el DME 15 basado en la metodología de Hawley & Cunnig (2107). Para ello, se definió la clasificación de 22 factores que se detallan en la siguiente Tabla 72, los cuales se clasifican en grupos como se ve en la Tabla 73 y finalmente concluir que la propuesta de diseño geotécnico para el DME 15 tiene una clasificación de estabilidad de 69.5, clase de peligro II, es decir, el peligro de inestabilidad del DME 15 es bajo, esto se detalla en la siguiente Tabla 74.

Tabla 72

Clasificación de los 22 factores de la propuesta de diseño geotécnico para el DME 15

ID	Factor	Descripción	Clasificación	Puntaje
1	Sismicidad	Tr 475 años, PGA = 0.35	Alto	0.5
2	Precipitación	Precipitación anual máxima = 500 mm	Moderado	4
3	Ángulo de fundación	$\theta = 12^\circ$	Suave	4
4	Forma de la fundación	Cóncava y Plana, $\theta = 12^\circ - 18^\circ$	Moderado	1
5	Tipo de fundación	Fundación con $\phi > 32^\circ$	Tipo IV	3
6	Espesor de capa débil	No se tiene	Despreciable	4
7	Potencial de falla no drenada	Fundación saturada, de permeabilidad media a alta	Despreciable	0
8	Potencial de licuación de la fundación	No identificado	Despreciable	0
9	Basamento rocoso	RMR = 72	Tipo D	3
10	Nivel freático	En la superficie	Alto	0
11	Gradación	Finos 16%; <3" 44%	Grano mixto	3.5
12	Resistencia y durabilidad intacta	Se estima desmonte de resistencia media	Tipo 3	4
13	Potencial de licuación de materiales	No identificado	Despreciable	0
14	Estabilidad química	Se estima desmonte no PAG	Neutro	5
15	Altura	Máximo = 38 m	Muy bajo	4
16	Ángulo de pendiente	$\theta = 20^\circ$	Plano	3
17	Volumen y masa	Vol = $0.34 \times 10^6 \text{ m}^3$	Muy pequeño	2
18	Estabilidad estática	FoS = 1.61	FoS > 1.50	7
19	Estabilidad dinámica	FoS = 1.00	FoS < 1.05	1
20	Método constructivo	Secuencia de ascenso en terrenos planos	Método V	8
21	Ratio de carga de construcción	Volumen diario / cresta = 30 - 50	Bajo	5
22	Rendimiento de estabilidad	Estable	Buena	7.5

Nota. Basado en la metodología de (Hawley & Cuning, 2017).

Tabla 73*Clasificación de los grupos de la propuesta de diseño geotécnico para el DME 15*

ID	Grupo	Puntaje	Clasificación
1	Ubicación regional	4.5	Neutral
2	Condiciones de fundación	15	Buena
3	Calidad de materiales	12.5	Justo
4	Geometría y masa	9	Pequeño
5	Análisis de estabilidad	8	Buena
6	Construcción	13	Favorable
7	Rendimiento	7.5	Justo

Nota. Elaboración propia. Basado en la metodología de (Hawley & Cuning, 2017).

Tabla 74*Índices, clasificación de estabilidad y clase de peligro de la propuesta de diseño geotécnico para el DME 15*

ID	Índice y Clasificación	Puntaje
1	Índice de Ingeniería y Geología (EGI)	32
2	Índice de Diseño y Rendimiento (DPI)	37.5
3	Clasificación de estabilidad (WSR)	69.5
4	Clase de peligro (WHC)	II
5	Peligro de inestabilidad	Bajo

Nota. Elaboración propia. Basado en la metodología de (Hawley & Cuning, 2017).

Finalmente, de acuerdo con la Tabla 11, el nivel de esfuerzo requerido para el DME 15 de clase de peligro bajo es la siguiente Tabla 75 . Por tanto, de acuerdo con el desarrollo de la presente investigación, el nivel de esfuerzo de investigación, caracterización, análisis y diseño para el DME 15 ha sido conforme.

Tabla 75*Nivel de esfuerzo requerido para el DME 15*

Nivel de Esfuerzo	
Investigación y caracterización	Estudios de escritorio para establecer la clasificación inicial de estabilidad y peligro; reconocimiento del sitio para confirmar suposiciones de estudios de escritorio y planificar investigaciones de campo complementarias; mapeo y pruebas de calicatas según sea necesario para verificar las condiciones de la superficie; parámetros del material basados en literatura/experiencia y validados con pruebas limitadas de campo y de laboratorio; iniciar monitoreo ambiental de referencia limitado; perforación de condenación
Análisis y diseño	Análisis de estabilidad para verificar que la estabilidad tiene un impacto limitado en el diseño; diseño por especialista en geotecnia con revisión de pares
Construcción y operación	Preparación limitada del sitio, puede incluir desvíos menores; restricciones de construcción estándar; instrumentación limitada y monitoreo visual con un plan de acción de respuesta de disparador (TARP) básico; inspección periódica por un especialista en geotecnia experimentado

Nota. Basado en la metodología de (Hawley & Cunning, 2017).

5.8 Propuesta de diseño geotécnico de un DME

5.8.1 Propuesta de diseño geotécnico

Dado los resultados obtenidos en la Tabla 71 y Tabla 74 del capítulo anterior, la propuesta de diseño geotécnico para el DME 15 de la carretera Oyon Ambo, basado en la metodología de Hawley & Cunning (2017), es aceptable, el peligro de inestabilidad es bajo y el requerimiento de investigación, caracterización, análisis y diseño ha sido conforme. Finalmente, esta propuesta se presenta en la plantilla mostrada en la Tabla 12, dando como resultado la siguiente Tabla 76.

Tabla 76*Propuesta de diseño geotécnico para el DME 15 de la carretera Oyon Ambo*

Característica	Unidad	Valor
Ancho de banqueta	m	3.0
Altura de banqueta	m	10.0
Taludes locales de banqueta	H: V	2.5:1
Talud global	H: V	2.7:1
Ancho máximo	m	190
Largo máximo	m	210
Altura máxima	m	38
Cota máxima	m s.n.m.	4 417
Clasificación de estabilidad	-	69.5
Clase de peligro	-	II
Peligro de inestabilidad	-	Bajo

Nota. Basado en el formato de (Sernageomin, 2023).

5.8.2 Capacidad de almacenamiento

Para la medición de la capacidad de almacenamiento de la propuesta de diseño geotécnico para el DME 15 se empleó el software AutoCAD Civil 3D versión 2023. Para ello, se calculó el volumen comprendido entre la superficie de terreno existente y la superficie del diseño final con el método de áreas que emplea el software. Finalmente, se obtuvo una capacidad de almacenamiento potencial de 333 974 m³ que se muestra en la siguiente Tabla 77.

Tabla 77

Volumen de almacenamiento de la propuesta diseño geotécnico para el DME 15

Característica	Unidad	Valor
Volumen de almacenamiento	m ³	333 974

Nota. Elaboración propia.

5.8.3 Procedimiento constructivo

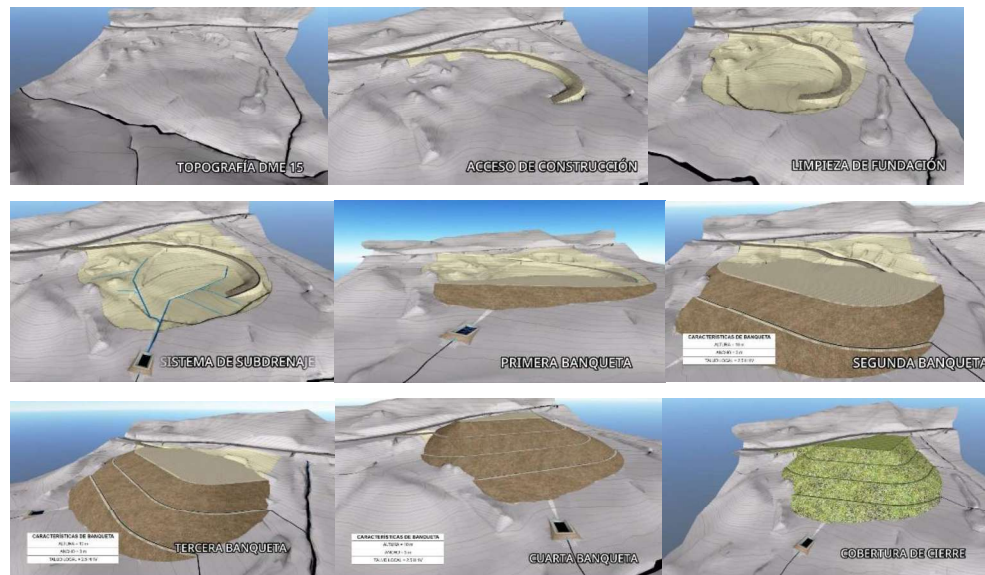
En cuanto al procedimiento constructivo típico del futuro DME 15, de manera conceptual sería de la siguiente manera.

- Excavación de la Fundación del área del DME
- Construcción de Acceso
- Construcción del Sistema de Subdrenaje
- Apilamiento del Material Excedente
- Construcción de Sistema de Aguas Superficiales
- Colocación de Cobertura de Cierre

Véase el modelo 3D del DME 15 en la siguiente Figura 46.

Figura 46

Modelo 3D del DME 15



Nota. Elaboración propia empleando AutoCAD Civil 3D.

5.8.4 Planos de ingeniería

Asimismo, se han realizado diez (10) planos de ingeniería para presentar la ubicación, investigaciones geotécnicas, geología local, secciones geotécnicas y la propuesta de diseño geotécnico para el DME 15 de la carretera Oyon Ambo. Estos se enumeran en la siguiente Tabla 78 y se presentan en el anexo 3.

Tabla 78

Lista de planos de la propuesta de diseño geotécnico para el DME 15

#	Descripción	Código
1	Ubicación DME 15 (km 183+450)	DME-15-GL-001
2	Investigaciones geotécnicas - Planta	DME-15-GG-001
3	Geología local - Planta	DME-15-GG-002
4	Sección geotécnica A-A'	DME-15-GG-003
5	Sección geotécnica B-B'	DME-15-GG-004
6	Excavación - Planta	DME-15-CV-001
7	Acceso - Planta, perfil y sección típica	DME-15-CV-002
8	Configuración final - Planta	DME-15-CV-003
9	Perfiles transversales A-A' Y B-B'	DME-15-CV-004
10	Perfil transversal C-C' y longitudinal D-D'	DME-15-CV-005

Nota. Elaboración propia.

Capítulo VI. Propuesta de guía técnica peruana para el diseño de un DME

En el siguiente capítulo se presenta una propuesta conceptual de “Guía Técnica Peruana para el Diseño de un Depósito de Material Excedente”, que considere especificaciones, lineamientos y consideraciones para el ámbito nacional. Esta ha sido elaborada con fines de revisión, comentarios y generar debate académico entre los profesionales involucrados en la gestión vial.

6.1 Disposiciones generales

Artículo 101. Objetivo. El objetivo de la guía es proporcionar especificaciones, lineamientos y consideraciones para el diseño de los depósitos de material excedente (en adelante, DME, por sus siglas) del sistema vial nacional, de tal forma que permita el adecuado manejo de la problemática técnica, económica, social y ambiental de los DME generada por el desarrollo de obras de infraestructura de la red vial nacional.

Establecer las medidas que se deben tomar en cuenta para mitigar los impactos negativos y potenciar los impactos positivos sobre el ambiente y el ser humano, causado por los DME, durante las fases del proyecto de diseño, construcción, operación, mantenimiento y cierre de las carreteras.

Ofrecer las pautas necesarias para que los encargados de planificar y administrar la gestión de los DME, consultores, supervisores de obra y los contratistas, cuenten con una herramienta de consulta permanente, detallada y actualizada. En este sentido, se promueve un enfoque proactivo que considera la minimización de riesgos.

Artículo 102. Alcance. Aplicable a todos los proyectos viales donde se genere material excedente que requiera disposición en depósitos, en todo el territorio peruano, tanto en carreteras nacionales como regionales y locales bajo supervisión del MTC.

Artículo 103. Definiciones. Depósito de material excedente: DME, por sus siglas, anteriormente llamados botaderos, son áreas destinadas a la disposición

temporal o definitiva de materiales removidos durante el proyecto de infraestructura vial.

Material excedente: Es todo aquel material cuyo origen proviene de las actividades de excavación, corte, nivelación, demolición, limpieza, mantenimiento y que no se puede reutilizar en otras actividades del proyecto. No debe incluirse residuos tóxicos o peligrosos.

Estabilidad física: Situación de seguridad estructural que garantiza que el DME no sufra fenómenos de falla, deslizamiento, colapso o remoción.

Rotura de inestabilidad física: Daño estructural de un DME, generado por la pérdida o reducción de sus capacidades resistentes y/o deformaciones excesivas, que afecta su desempeño, función y uso, perjudicando la vida, salud y seguridad de las personas y/o medio ambiente.

Caracterización geotécnica: Consiste en la identificación de las propiedades físicas y de resistencia de las unidades geotécnicas de la fundación del área de emplazamiento y el material excedente, en base al análisis e interpretación de la información proveniente de la geología local, investigaciones geotécnicas de campo y ensayos de laboratorio

Ingeniero responsable: Ingeniero que responde por la integridad del depósito de material excedente. Ingeniero civil o geólogo con experiencia o estudios avanzados en el campo de la ingeniería geotécnica, con grado de ingeniería o disciplinas afines, titulado y colegiado, que acredite formación en geotecnia y un mínimo de cinco (05) años de experiencia en la elaboración de informes de estabilidad física y/o análisis de riesgos geotécnicos y/o elaboración, jefe, supervisión, ejecución y/o operación de proyectos de depósitos de material excedente.

Artículo 104. Referencias normativas y técnicas:

Decreto Supremo N° 004-2017-MTC. Reglamento de Protección Ambiental para el Sector Transportes.

Resolución Directoral N° 05-2016-MTC14. Mantenimiento o Conservación Vial. Manual de Carreteras.

Resolución Directoral N° 22-2013-MTC14. Especificaciones Técnicas Generales para Construcción. Manual de Carreteras.

Resolución Directoral N° 068-2005-MTC16. Manual de Gestión Socio Ambiental para Proyectos Viales Departamentales.

Servicio Nacional de Geología y Minería, 2023. Guía de Presentación de Proyectos de Estériles en Faenas Mineras

Hawley, M. & Cuning J., 2017. Guidelines for Mine Waste Dump and Stockpiles Design

Artículo 105. Autoridades competentes del sector transportes:

Dirección General de Infraestructura de Transportes (DGIT): Formula normas, manuales técnicos, lineamientos y políticas técnicas para infraestructura vial.

Dirección General de Asuntos Socio Ambientales (DGASA): Evalúa y aprueba los instrumentos de gestión ambiental para proyectos de carreteras. Supervisa el cumplimiento ambiental.

Dirección General de Caminos (DGC): Se encarga de la Red Vial Nacional. Planifica, promueve y ejecuta la conservación y mejoramiento de carreteras a nivel nacional.

Dirección General de Regulación y Normatividad en Transporte Terrestre (DGRT): Elabora y actualiza la normativa legal del transporte por carretera.

Provías Nacional: Ejecuta proyectos de construcción, mejoramiento y mantenimiento de carreteras de la Red Vial Nacional.

Provías Descentralizado: Brinda asistencia técnica y financiera a gobiernos regionales y locales para carreteras departamentales y vecinales.

Superintendencia de Transporte Terrestre de Personas, Carga y Mercancías (SUTRAN): Fiscaliza la seguridad vial, peso y dimensiones vehiculares, y condiciones del transporte interprovincial.

Organismo Supervisor de la Inversión en Infraestructura de Transporte de Uso Público (OSITRAN): Supervisa contratos de concesión de infraestructura vial (peajes, autopistas, corredores logísticos).

Artículo 106. Principios de diseño, construcción, operación y cierre. El diseño, construcción, operación y cierre de los DME deberán regirse por los siguientes principios:

Seguridad estructural y estabilidad física. El DME deberá ser diseñado y construido para mantener su estabilidad en todo momento, incluyendo condiciones estáticas, sísmicas y eventos extremos de precipitación, evitando riesgos de falla que pongan en peligro a las personas, bienes y el medio ambiente.

Prevención y gestión de impactos ambientales. Se deberán adoptar medidas para prevenir, minimizar y, de ser necesario, mitigar impactos negativos sobre el aire, agua, suelo, flora y fauna, incluyendo el control de erosión, generación de sedimentos y aguas contaminadas.

Aprovechamiento eficiente del espacio y del material excedente. La disposición del material deberá optimizar el uso del terreno disponible, reducir la huella física del DME y permitir, cuando sea factible, su eventual aprovechamiento para fines constructivos o de recuperación ambiental.

Integridad durante todo el ciclo de vida. El DME debe garantizar su funcionalidad y seguridad durante las fases de construcción, operación, cierre y post-cierre, incorporando planes de mantenimiento y monitoreo acorde a su clasificación de riesgo.

Adaptación a las condiciones locales. El diseño deberá considerar las características geotécnicas, hidrológicas, climáticas, sísmicas y socioambientales del sitio seleccionado, evitando ubicar el DME en zonas de alto riesgo no mitigable.

Cumplimiento normativo. Todas las fases deberán cumplir con la normativa nacional vigente en materia de transporte, construcción, seguridad vial, medio ambiente, gestión de riesgos y patrimonio cultural.

Transparencia y trazabilidad. Las decisiones técnicas, cambios de diseño, resultados de control de calidad y reportes de monitoreo deberán documentarse y estar disponibles para la supervisión y fiscalización competente.

Cierre progresivo y restauración ambiental. Siempre que sea técnicamente viable, el cierre de las áreas culminadas del DME se realizará de manera progresiva, favoreciendo la recuperación del terreno y la integración paisajística.

6.2 Selección de ubicación

Artículo 201. Consideraciones socioambientales:

Evitar áreas con vestigios arqueológicos, mediante un Certificado de Inexistencia de Restos Arqueológicos (CIRA), evitar humedales, bosques de protección, patrimonios culturales, áreas sensibles, parques naturales o zonas de relevancia socioambiental. Evitar áreas que pueda obstaculizar drenajes naturales. Si esto sucede, se debe proceder de acuerdo con la normatividad vigente y verificar la viabilidad correspondiente.

Evitar áreas aptas para actividades de agricultura o de pastoreo. Evaluar el uso del suelo con autoridades locales. El DME debe respetar y garantizar la no afectación de infraestructura petrolera, hidráulica, telecomunicaciones, etc. El área del DME no debe dañar las condiciones ambientales o paisajísticas de la región, ni donde la población vecina pueda estar expuesta a cualquier tipo de peligro sanitario o ambiental.

En caso de reemplazo o reubicación de DME, se deberá presentar un Informe Técnico Sustentatorio (ITS) al MTC.

Artículo 202. Distancias mínimas a zonas sensibles:

Evitar áreas de lechos de los ríos ni en cuerpos de agua, ni a una distancia inferior a 30 m a cada lado de las riberas de estos. El DME debe ubicarse fuera de la Faja Marginal de Cuerpos Naturales de Agua, debiéndose tener presente los criterios para Faja Marginal establecidos en la RJ. N°332-2016-ANA.

Los DME deberán mantenerse lo suficientemente distanciados de los cuerpos de agua, de forma que, en caso de que se produzcan crecientes, no se exceda el nivel más bajo. Es imprescindible prevenir la contaminación de cualquier origen y flujo de agua.

Artículo 203. Requisitos técnicos para la selección del sitio:

El área destinado a la disposición debe ser escogido meticulosamente, evitando áreas inestables geotécnicamente, inundables o propensos a deslizamientos.

El área debería situarse en terrenos pobres con una cobertura vegetal escasa o nula, minimizando el impacto en comunidades, ecosistemas, flora, fauna y patrimonio cultural, y en la medida de lo posible, en terrenos sin un uso definido.

Se debe considerar la morfología del terreno, tratando en primera instancia de utilizar depresiones o áreas desiguales, donde la conformación del material excedente a depositar podría recuperar las características del paisaje.

Se deberá tener en cuenta que la distribución de los DME esté de acuerdo con los volúmenes de generación de material excedente en la ejecución de la infraestructura del proyecto, a fin de reducir al mínimo las distancias de transporte de material.

Artículo 204. Evaluación preliminar del sitio. Se deberá llevar a cabo una inspección in situ por el profesional geotécnico competente de las condiciones topográficas, geológicas y geotécnicas de las áreas sugeridas como DME y evaluar su viabilidad.

Artículo 205. Autorizaciones y acuerdos con propietarios:

En todo momento, se respeten los derechos de propietarios/pobladores de la zona cercana a las áreas designadas como DME, para evitar afectaciones a propiedades de terceros o en su defecto, se lleguen a acuerdos con los propietarios para mitigar las posibles modificaciones que se puedan causar. Generalmente, se llegan a acuerdos de cesión/alquiler de terrenos para disponer material excedente en dichas áreas.

Es necesario contar con las autorizaciones pertinentes si el área indicada es de propiedad privada, zona de reserva, o territorios especiales establecidos por la legislación. Informar y obtener consenso previo con municipalidades y comunidades. Se deben tener los documentos que identifiquen a los propietarios de los predios, individuales o comunales (ficha registral o constancia de posesión) y copia de DNI de estos.

Las ubicaciones sugeridas (volumen de depósito, zonas a tratar, procedimientos de construcción y estrategias de control de erosión) serán examinadas y aprobadas por la supervisión.

6.3 Diseño

Para el diseño de los depósitos de material excedente se tomará como guía el libro de Hawley & Cuning (2017) denominado *“Guidelines for Mine Waste Dump and Stockpile Design”* y los lineamientos del MTC.

Sección 310. Caracterización del sitio:

Artículo 301. Topografía. Se llevará a cabo un levantamiento topográfico en la zona de emplazamiento del DME con el propósito de desarrollar un diseño adecuado con curvas de nivel cada un (01) m . Además, como parte del informe se identificará la ubicación, extensión y delimitación del DME, asimismo, cada uno de los vértices del depósito seleccionado estará referido a coordenadas UTM del sistema geodésico WGS 84. La información debe incluir los aspectos geomorfológicos del área de emplazamiento, indicando la orografía, forma del relieve, taludes, centros poblados cercanos, infraestructura vial, eléctrica, ríos, vertientes, quebradas, caminos o vías de acceso, cartografía general de la cuenca hidrográfica (dependiendo de la ubicación del proyecto). También es viable el levantamiento topográfico con imágenes satelitales o levantamiento topográfico

con dron, u otra tecnología emergente. Se recomienda planos a una escala 1:1000 o inferiores. Asimismo, se debe presentar al menos cuatro (04) planos, un (01) plano del DME con su ubicación departamental, provincial, distrital y de ubicación respecto a la carretera en cuestión, se incluirá los límites máximos aprobados del DME, cuadro de coordenadas de los vértices, leyenda, escala gráfica, membrete y notas, un (01) plano topográfico que incluya las curvas de nivel, pendientes indicadas (%), pendiente máxima, y perfiles representativos, cotas del lugar de emplazamiento, la geomorfología relevante (quebradas, ríos, cerros, etc) y al menos dos (02) planos de secciones transversales. El informe topográfico deberá estar firmado por el profesional especialista en topografía y el ingeniero responsable. Los informes de topografía deberán tener como mínimo, el siguiente contenido:

1. Introducción
 - 1.1 Objetivos
 - 1.2 Ubicación
 - 1.3 Información existente
2. Recopilación de información
 - 2.1 Georeferenciación
 - 2.2. Puntos de control geodésico
 - 2.3 Poligonal de apoyo
3. Levantamiento topográfico
 - 3.1 Metodología
 - 3.2 Personal técnico
 - 3.3 Equipos, herramientas y materiales
 - 3.4 Trabajos de campo
 - 3.5 Procesamiento de data
 - 3.6 Resultados
4. Conclusiones y recomendaciones
5. Referencias
6. Anexos
 - 6.1 Panel fotográfico
 - 6.2 Planos

Artículo 302. Geología. Se revisará la información previa tales como: informes geológicos, del INGEMMET, por ejemplo, hidrogeológicos, medioambientales y aquellos que se encuentren cercanos al área de emplazamiento del DME, así como imágenes satelitales, con el fin de tener un conocimiento previo al mapeo geológico. Se llevará a cabo un mapeo geológico para la identificación y descripción de las unidades litoestratigráficas que afloran en el área de emplazamiento del DME, identificar estructuras geológicas, fallas geológicas, rocas débiles y permeables y/o posibles deslizamiento, asimismo, se describirá el origen del material de desmonte a depositar en el DME y su caracterización geológica regional. Se describirán las características geológicas locales y regionales de la zona del DME, así como la geodinámica externa que pueda afectar la estabilidad del depósito. Las unidades de suelo serán diferenciadas de acuerdo con las características genéticas y geotécnicas, mientras que para las unidades de roca se consignará información relevante usando la clasificación geomecánica de Bieniaswski 1989 teniendo en cuenta el Rock Mass Rating (RMR) y las discontinuidades. Se deben incluir al menos tres (03) planos, un (01) plano de geología local en planta que presente las unidades estratigráficas en el área de emplazamiento del DME, leyenda, membrete y la ubicación, y un número razonable de cortes geológicos, al menos dos (02) planos de secciones geológicas, una longitudinal y otra transversal, tal que este último sea la más crítica. El informe geológico deberá estar firmado por el profesional especialista en geología y el ingeniero responsable. Los informes de geología deberán tener como mínimo, el siguiente contenido:

1. Introducción
 - 1.1 Objetivos
 - 1.2 Ubicación
 - 1.3 Información existente
2. Geología del depósito
 - 2.1 Geología estructural
 - 2.2 Geología regional
 - 2.2.1 Descripción del contexto morfológico
 - 2.2.2. Estratigrafía del contorno
 - 2.3 Geología local
 - 2.3.1 Morfología
 - 2.3.2 Litoestratigrafía

- 2.3.3 Componente edáfico
- 2.3.4 Geoestructura
- 2.3.5 Geodinámica
- 3. Geología del material a depositar
- 3.1 Geología regional
- 4. Conclusiones y recomendaciones
- 5. Referencias
- 6. Anexos
- 6.1 Panel fotográfico
- 6.2 Planos

Artículo 303. Hidrometeorología. Se realizará un informe hidrometeorológico para identificar la presencia de escorrentías superficiales permanentes, ríos, lagos, lagunas, glaciares, bofedales, humedales, esteros, morrenas, etc. Se deberá incluir la información de la cuenca hidrológica a la que pertenece el área de emplazamiento y los parámetros y características físicas e hidrológicas de las quebradas y cauces que incidirán en la zona. Asimismo, se incluirá el clima que condiciona ciertas características asociadas a la geomorfología, a la red hidrográfica, al sistema de acuíferos, siendo las variables climáticas mínimas; la temperatura, la precipitación y la evapotranspiración. El análisis de estas variables puede realizarse a partir de información proporcionada por el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI) así como por información propia generada. El informe hidrometeorológico deberá estar firmado por el profesional especialista en hidrometeorología y el ingeniero responsable. Los informes de hidrometeorología deberán tener como mínimo, el siguiente contenido:

- 1. Introducción
 - 1.1 Objetivos
 - 1.2 Ubicación
 - 1.3 Información existente
- 2. Climatología
 - 2.1 Evapotranspiración potencial
 - 2.2 Temperatura
 - 2.3 Viento
 - 2.4 Humedad relativa mensual

- 2.5 Precipitaciones
- 2.6 Selección de evento de tormenta
- 3. Hidrología
 - 3.1 Caracterización fisiográfica
 - 3.1.1 Parámetros geomorfológicos
 - 3.1.2 Parámetros de relieve
 - 3.2 Análisis de precipitaciones
 - 3.2.1 Información pluviométrica
 - 3.2.2 Análisis de datos dudosos
 - 3.2.3 Pruebas de bondad de ajuste
 - 3.2.4 Factor de ajuste de frecuencia
 - 3.2.5 Intensidad de diseño
 - 3.3 Proyecciones de cambio climático
 - 3.4 Modelo de transformación lluvia - escorrentía
- 4. Conclusiones y recomendaciones
- 5. Referencias
- 6. Anexos
 - 6.1 Información pluviométrica
 - 6.2 Análisis hidrometeorológicos
 - 6.3 Planos

Artículo 304. Hidrogeología. Se realizará un informe hidrogeológico del nivel de napa subterránea y unidades hidrogeológicas con su respectiva conductividad hidráulica de la zona de emplazamiento que estará influenciado por la topografía, la geología y el clima. Se tomará como información previa los informes hidrogeológicos realizados por entidades como INGEMMET, entre otros. El informe hidrogeológico deberá estar firmado por el profesional especialista en hidrogeología y el ingeniero responsable.

Artículo 305. Peligro Sísmico. Se debe realizar un informe de peligro sísmico o tomar como base la zonificación sísmica de la norma sismorresistente E030. Se debe analizar la capacidad, o potencial, de daño del movimiento del terreno generado por terremotos en el lugar, para tal efecto se debe realizar la revisión y el análisis de la información de la actividad sísmica del área de emplazamiento del DME. Considerar escenarios con todos los tipos de sismos

definidos en Perú, tanto próximos al DME como los máximos de cada tipo que han tenido efectos en Perú (máximo creíble). Aplicar las distintas leyes de atenuación para determinar sismos de diseño, respetando estrictamente lo indicado por el autor. Presentar aceleraciones medidas de manera estadística sobre la zona donde se emplazará el DME. El informe de peligro sísmico deberá estar firmado por el profesional especialista en sismicidad y el ingeniero responsable.

Artículo 306. Geotecnia. Se deberá elaborar un plan de investigaciones geotécnicas, de acuerdo con las características del DME, con la finalidad de realizar la caracterización geotécnica de los materiales de suelo y roca que componen las diferentes unidades geotécnicas involucradas en el área del DME, así como también, definir el nivel de cimentación, taludes de banquetas, potencia de estratos y nivel freático. Este plan abarcará las investigaciones directas como calicatas, trincheras, perforaciones, entre otros, las investigaciones indirectas como ensayos geofísicos del tipo refracción sísmica, MASW 2D, MASW 1D, MAM, entre otros, ensayos de campo como densidad in situ, permeabilidad in situ, entre otros y los ensayos de laboratorio como clasificación SUCS, humedad, granulometría, conductividad hidráulica, ensayo triaxial en condición drenada y/o no drenada, proctor directo, propiedades físicas de rocas, entre otros a las muestras representativas recopiladas en campo y de muestras del material a depositar. El plan indicará los tipos de investigaciones, cantidad, norma utilizada y ubicación en coordenadas UTM. De las investigaciones geotécnicas ejecutadas se deberá reportar la profundidad de exploración, características geotécnicas del material encontrado, presencia de nivel freático, densidad, permeabilidad, rigidez, velocidad de ondas de corte (V_s), entre otros. Se deberá realizar al menos un (01) plano de investigaciones geotécnicas realizadas en el DME, con cuadro de coordenadas de las investigaciones, leyenda, notas y membrete. Se deberá presentar cuadros resúmenes de las investigaciones de campo, los ensayos de campo y ensayos de laboratorio, asimismo, se deberán adjuntar sus registros respectivos y firmados. El informe de geotecnia deberá estar firmado por el profesional especialista en geotecnia y el ingeniero responsable. Los informes de geotecnia deberán tener como mínimo, el siguiente contenido:

1. Introducción
- 1.1 Objetivos
- 1.2 Ubicación

- 1.3 Información existente
- 2. Investigaciones geotécnicas
 - 2.1 Fundación del depósito
 - 2.1.1 Métodos de auscultación del terreno
 - 2.1.2 Ensayos de campo
 - 2.1.2.1 Ensayos de densidad in situ
 - 2.1.2.2 Ensayos de permeabilidad in situ
 - 2.1.2.3 Ensayos geofísicos
 - 2.1.3 Ensayos de laboratorio
 - 2.2 Material a depositar
 - 2.2.1 Métodos de auscultación del terreno
 - 2.2.2 Ensayos de campo
 - 2.2.3 Ensayos de laboratorio
 - 2.3 Perfil estratigráfico
 - 2.4 Niveles de agua
- 3. Conclusiones y recomendaciones
- 4. Referencias
- 5. Anexos
 - 6.1 Registro de métodos de auscultación de terreno
 - 6.2 Registro de ensayos de campo
 - 6.3 Resultados de laboratorio
 - 6.4 Panel fotográfico
 - 6.5 Planos

Sección 320. Caracterización geotécnica:

Artículo 321. Caracterización de materiales. El objetivo de la caracterización geotécnica es proveer las propiedades físicas y mecánicas de los materiales de suelo y roca que componen las diferentes unidades geotécnicas involucradas en el área del DME basados en el análisis e interpretación de la información proveniente del informe de geología y geotecnia. Estas propiedades serán empleados en los análisis geotécnicos (filtraciones, estabilidad, deformaciones, entre otros). Se deberán realizar al menos tres (03) planos geotécnicos, un (01) plano geotécnico de planta dónde se integre la geología, investigaciones geotécnicas y data de laboratorio, se presente las unidades geotécnicas, leyenda y notas. Al menos (02) planos de secciones geotécnicas,

uno longitudinal y uno transversal, siendo este último la sección más crítica, dónde se integra la información de la caracterización del sitio. El informe de caracterización geotécnica deberá estar firmado por el profesional especialista en geotecnia y el ingeniero responsable. Los informes de caracterización geotécnica deberán tener como mínimo, el siguiente contenido:

1. Introducción
 - 1.1 Objetivos
 - 1.2 Ubicación
 - 1.3 Información existente
2. Caracterización geotécnica
 - 2.1 Fundación del depósito
 - 2.2 Material a depositar
 - 2.3 Resumen de propiedades de resistencia
 - 2.4 Resumen de propiedades hidráulicas
3. Conclusiones y recomendaciones
4. Referencias
5. Anexos
 - 5.1 Planos

Sección 330. Diseño:

Artículo 331. Planteamiento de diseño geotécnico. En base a la caracterización del sitio con la topografía, geología, geotecnia, hidrometeorología, hidrogeología y peligro sísmico se deberá plantear el diseño geotécnico del DME, para ello se deberá definir los taludes locales, altura de banquetas, ancho de banquetas, talud global, ancho máximo, altura máxima y largo máximo, entre otros, no debiendo superarse la altura del terreno natural. Se deben plantear taludes estables y que estén resguardados para prevenir procesos de deslizamiento y/o erosión. Se presenta a continuación una tabla para la propuesta de diseño geotécnico. Para aceptar el diseño geotécnico se realizará un análisis de estabilidad física y de ser necesario análisis geotécnicos complementarios, dónde se evaluará si se cumple con los factores de seguridad mínimos requeridos. Los planteamiento de diseño geotécnico de un DME se recomienda presentarlos en el siguiente formato de la Tabla 79.

Tabla 79

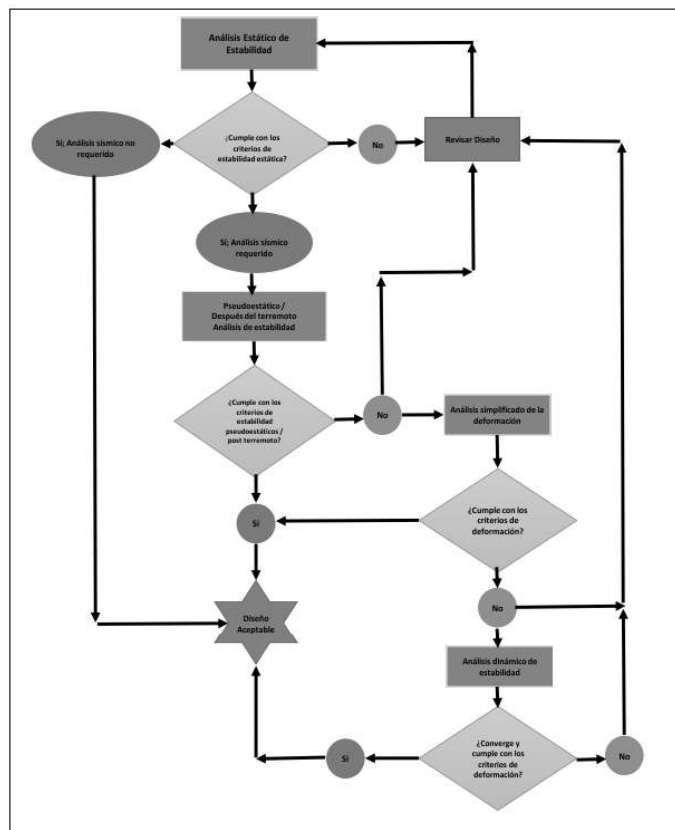
Planteamiento de diseño geotécnico de un DME

Característica	Unidad	Valor
Ancho de banquetta	m	
Altura de banquetta	m	
Taludes locales de banquetta	H: V	
Talud global	H: V	
Ancho máximo	m	
Largo máximo	m	
Altura máxima	m	
Cota máxima	m s.n.m.	

Artículo 332. Análisis de estabilidad. El análisis de estabilidad nos permite determinar si el planteamiento de diseño geotécnico cumple con los criterios de aceptabilidad. En caso, de no cumplir se debe rediseñar. Para desarrollar los análisis de estabilidad se propone el siguiente diagrama de flujo. El cual se detalla a continuación en la Figura 47.

Figura 47

Diagrama de flujo del análisis de estabilidad



Nota. Extraído de Gaviria & Suárez (2019), traducido de (Hawley & Cuning, 2017, p.147).

Paso 1. Determinar los criterios de aceptación, también llamados criterios geotécnicos. Se deberán definir en función de la calidad de la información y la consecuencia de falla del DME, aunque no existe consenso en la disciplina respecto a los criterios de aceptabilidad, se recomienda los siguientes valores:

- Factor de seguridad estático ≥ 1.30 (probabilidad de falla $< 10\%$)
- Factor de seguridad pseudoestático ≥ 1.00 (probabilidad de falla $< 40\%$)

Se pueden presentar tomando como base la siguiente Tabla 80.

Tabla 80

Criterios geotécnicos de un DME

Descripción	Unidad	Valor	Fuente
Criterios sísmicos			
Clasificación sísmica de la fundación			
Sismo de diseño			
Aceleración máxima del terreno (PGA)			
Formulación para determinar el coeficiente sísmico			
Coeficiente sísmico			
Criterios de estabilidad física			
Factor de seguridad estático mínimo			
Factor de seguridad pseudoestático mínimo			
Factor de seguridad postsismo mínimo			
Máxima deformación permitida			

Paso 2. Efectuar análisis de estabilidad estática y cotejar los hallazgos con los criterios de aceptación definidos para la estructura. Si los resultados no satisfacen los criterios, es necesario un procedimiento iterativo donde se altera el diseño y se llevan a cabo análisis estáticos extra. Este proceso iterativo se realiza hasta alcanzar un diseño que satisface los criterios estáticos.

Paso 3. En el caso de estructuras en sitios donde el riesgo sísmico es bajo y los reguladores no consideran necesario ni exigen un análisis sísmico, si los

resultados de los análisis estáticos cumplen con los criterios mínimos de aceptación, es posible que no se necesiten análisis adicionales para respaldar el diseño, finalmente, se acepta el diseño. Sin embargo, los diseños que pasan la prueba estática y deben evaluarse para determinar su estabilidad sísmica se someten luego a un análisis pseudoestático o a un análisis postsismo, o ambos. Para estructuras en lugares con bajo riesgo sísmico y las autoridades no requieren ni demandan un análisis sísmico, si los resultados de los análisis estáticos satisfacen los criterios mínimos de aceptación, es posible que no se requieran más análisis para respaldar el diseño. Finalmente, se acepta el diseño. No obstante, si los diseños que superan el análisis estático y deben ser evaluada su estabilidad sísmica, por tanto, debe realizarse un análisis pseudoestático o a un análisis postsismo, o ambos.

El análisis pseudoestático se realiza mediante la aplicación de una aceleración horizontal constante (y en ciertas situaciones una aceleración vertical constante) a la masa de la estructura, con el objetivo de ilustrar las aceleraciones sísmicas transitorias que pueden ser provocadas durante el sismo de diseño. Se lleva a cabo un análisis estático que incluye estas aceleraciones y se determina un factor de seguridad pseudoestático adecuado. Aunque el análisis pseudoestático se ha empleado por décadas y es el estándar que algunas autoridades emplean para calificar diseños, ciertos expertos optan por el análisis estático postsismo como herramienta de detección inicial para valorar el posible efecto de un sismo en la estabilidad de la estructura.

En este método, los parámetros de resistencia al corte que se aplican a la base de la estructura y, en ciertas situaciones, al material de esta, se disminuyen a sus valores iniciales para considerar el potencial ablandamiento por deformación que podría suceder durante el sismo de diseño. El ablandamiento por deformación puede ser un aspecto crucial en el tratamiento de materiales de base delicados, como arcillas quebradizas con una elevada correlación entre su resistencia máxima y residual. La elección de los parámetros residuales apropiados para utilizar en un análisis postsismo demanda un entendimiento de la historia de deformación y el comportamiento de la resistencia al corte de los materiales de cimentación. Antes de iniciar este tipo de análisis, es necesario acudir a un experto geotécnico con la experiencia necesaria. Si los hallazgos de los análisis satisfacen

los criterios básicos de aceptación, el diseño se considera aceptado y no se necesitan más evaluaciones.

Paso 4. Si los resultados no cumplen con los criterios establecidos, existen dos opciones: ajustar el diseño y someterlo a una nueva evaluación mediante análisis estáticos y pseudoestáticos/postsísmicos, o llevar a cabo un análisis simplificado de deformaciones para estimar la posible deformación inducida por el sismo de diseño. Posteriormente, esta estimación se contrasta con los criterios de deformación máxima permitida.

Para obtener aproximaciones conservadoras del eventual desplazamiento o deformación durante un evento sísmico, se pueden utilizar varios métodos simplificados, como los propuestos por Newmark (1965) y Swaisgood (2003). Para usar estos criterios de aceptación, las estimaciones de deformación obtenidas mediante estos métodos pueden transformarse en una deformación "equivalente". Se consigue esto dividiendo la deformación estimada por la longitud de la ruta crítica de falla y expresando el resultado en porcentaje. Si se desconoce o es complicado establecer la longitud de la superficie de falla crítica, se puede utilizar, como estimación conservadora, la longitud total de la pendiente o la altura del terraplén. La deformación "equivalente" se comparará con la deformación máxima permitida y, si resulta menor a los criterios de aceptación, el diseño será aprobado sin necesidad de análisis adicionales.

Cabe destacar que el método simplificado de Newmark estima el desplazamiento esperado en función de una aceleración de fluencia horizontal correspondiente a un factor de seguridad de 1.00. No obstante, este método puede adaptarse a escenarios donde el factor de seguridad pseudoestático mínimo requerido sea superior a 1.00, redefiniendo la aceleración de fluencia horizontal en función del factor de seguridad mínimo establecido.

Paso 5. Si la deformación estimada supera el máximo permitido, son posibles dos opciones: ajustar el diseño y someterlo a una nueva evaluación mediante análisis estáticos, pseudoestáticos/postsismo y, en caso de ser necesario, análisis de deformación simplificados. Alternativamente, se puede llevar a cabo un análisis dinámico realizado para calcular la cantidad de

deformación/esfuerzo acumulado mediante diversas técnicas de modelado numérico. Considere que es imprescindible la convergencia del modelo numérico antes de poder determinar el desplazamiento acumulado. Un modelo numérico que no sea convergente no cumplirá los criterios de aceptación. Si el análisis dinámico converge y la deformación acumulada satisface los criterios de aceptación, el diseño es aceptado y no se necesitan más evaluaciones.

Paso 6. Si el análisis no alcanza una convergencia, se ajusta el diseño y se vuelve a analizar, iniciando con un análisis estático. Las definiciones de convergencia difieren dependiendo del experto y del método de modelado numérico utilizado. Al emplear un modelo numérico, es necesario definir y proteger la cantidad de pasos temporales y el límite de velocidad, u otros criterios de convergencia.

Paso 7. Es posible que existan situaciones particulares donde los métodos simplificados de análisis pseudoestático/postsismo resulten insuficientes para confirmar el diseño. Estas situaciones pueden abarcar construcciones cimentadas en terrenos que podrían ser licuables o en arcillas saturadas con escasa resistencia al corte sin drenaje. En estas situaciones, podrían requerirse análisis dinámicos y/o análisis estáticos que contemplen evaluaciones de licuefacción y una valoración minuciosa del comportamiento de la resistencia al corte postsismo. Estos análisis deben llevarse a cabo por especialistas geotécnicos con experiencia en la valoración y diseño de estructuras en zonas con alto riesgo sísmico. Los informes de análisis de estabilidad de los DME deberán tener como mínimo, el siguiente contenido:

1. Introducción
 - 1.1 Objetivos
 - 1.2 Ubicación
 - 1.3 Información existente
2. Diseño civil
3. Análisis de estabilidad
 - 3.1 Determinación de criterios geotécnicos
 - 3.1.1 Criterios sísmicos
 - 3.1.2 Criterios de estabilidad física
 - 3.2 Análisis de estabilidad

- 3.2.1 Metodología de análisis
- 3.2.2 Condición de análisis
- 3.2.3 Sección de análisis
- 3.2.4 Nivel freático
- 3.2.5 Consideraciones de análisis
- 3.2.6 Propiedades de resistencia
- 3.2.7 Resultados
- 4. Conclusiones y recomendaciones
- 5. Referencias
- 6. Anexos
- 6.1 Figuras de análisis de estabilidad

Artículo 333. Análisis geotécnicos adicionales. En caso sea necesario, se puede complementar el análisis de estabilidad con análisis geotécnicos adicionales como el análisis de filtraciones, análisis de caída de rocas, análisis de deformaciones estáticas o dinámicas y/o análisis de deformaciones por sismo mediante métodos simplificados empleando las últimas metodologías y avances académicos.

Los informes de análisis de filtraciones de los DME deberán tener como mínimo, el siguiente contenido:

- 1. Introducción
 - 1.1 Objetivos
 - 1.2 Ubicación
 - 1.3 Información existente
- 2. Diseño civil
- 3. Análisis de filtraciones
 - 3.1 Metodología
 - 3.2 Condición de análisis
 - 3.3 Sección de análisis
 - 3.4 Modelo numérico
 - 3.5 Consideraciones de análisis
 - 3.6 Propiedades hidráulicas
 - 3.7 Resultados
- 4. Conclusiones y recomendaciones

5. Referencias

6. Anexos

6.1 Figuras de Análisis de filtraciones

Los informes de análisis de deformaciones simplificados de los DME deberán tener como mínimo, el siguiente contenido:

1. Introducción

1.1 Objetivos

1.2 Ubicación

1.3 Información existente

2. Diseño civil

3. Análisis de deformaciones simplificados

3.1 Metodología

3.2 Propiedades de resistencia

3.3 Coeficiente de fluencia

3.4 Periodo fundamental

3.5 Espectro de respuesta y factor de amplificación

3.6 Resumen de datos de entrada

3.7 Resultados

4. Conclusiones y recomendaciones

5. Referencias

6. Anexos

6.1 Figuras de análisis de deformaciones simplificados

Artículo 334. Diseño hidráulico. En base a la caracterización del sitio se deberá plantear el diseño hidráulico del DME, para ello se deberá definir el diseño del drenaje superficial y el diseño del subdrenaje asegurando un drenaje adecuado y eficiente para captar y conducir las aguas de lluvia, evitar infiltración, saturación y erosión interna del material excedente acumulado. Asimismo, es importante integrarlo con el sistema de manejo de aguas de la carretera adyacente al DME. Finalmente, se deberán presentar planos del diseño de las obras hidráulicas. Los informes de diseño hidráulico de los DME deberán tener como mínimo, el siguiente contenido:

1. Introducción

1.1 Objetivos

1.2 Ubicación
1.3 Información existente
2. Criterios de diseño hidráulico
3. Obras hidráulicas
3.1 Descripción de manejo de aguas
3.1.1 Manejo de agua superficial
3.1.2 Manejo de filtraciones
3.2 Cálculo hidrológico
3.2.1 Escorrentía superficial
3.2.2 Filtraciones
3.3 Diseño hidráulico
3.3.1 Metodología
3.3.2 Drenaje superficial
3.3.2.1 Cunetas
3.3.2.2 Canales colectores
3.3.3 Subdrenaje
3.3.3.1 Tuberías
3.3.3.2 Poza de colección
4. Conclusiones y recomendaciones
5. Referencias
6. Anexos
6.1 Verificación de obras hidráulicas
6.2 Planos

Artículo 335. Diseño de accesos. Se realizará un informe del diseño de rampas y caminos de acceso, incluyendo pendientes, radio de giro, peralte en curva, y bermas de seguridad, se indicará la cantidad de vías y sentidos de circulación. Las pendientes de diseño se acreditarán en función de las características de capacidad y diseño de los equipos de acuerdo con lo indicado por el fabricante. Asimismo, se considerará salidas de emergencia en caminos de fuerte pendiente prolongada. Se debe indicar la distancia que queda entre el talud del DME y la rampa de acceso sobre el DME a las plataformas, incluyendo el pretil de seguridad, de tal forma que asegure su estabilidad frente al peso de los volquetes con la carga que pueda llevar y considerando la resistencia que pueda tener los materiales que constituyen el DME. Se incluirá planos de planta y perfiles.

Artículo 336. Diseño de cierre. Se realizará un informe del diseño de cierre enfocado a la revegetación y restauración del terreno en armonía con la morfología del terreno respetando pendientes estables, la protección contra la erosión, el manejo de aguas superficial y subdrenaje post construcción, y se buscará emplear una cobertura de topsoil y aplicará revegetación con flora autóctona del lugar, y realizándose en algunos casos árboles y arbustos.

Artículo 337. Compatibilidad química. Previo a su disposición en el DME, el material excedente deberá ser evaluado, cuando corresponda, para confirmar que es químicamente inerte y no califica como residuo sólido peligroso, conforme a la Ley de Gestión Integral de Residuos Sólidos (Ley N.º 27314) y su reglamento.

Si los resultados de caracterización indican presencia de compuestos peligrosos o potencial de generación de drenaje ácido, el material no podrá ser depositado en el DME y deberá ser gestionado según la normativa vigente para residuos peligrosos, bajo responsabilidad del titular del proyecto.

Artículo 338. Plan de instrumentación . Para los DME, el plan de instrumentación deberá ser proporcional al riesgo, se recomienda al menos: inspecciones visuales trimestrales documentadas, tres (03) hitos de control, un (01) piezómetro y un (01) pluviómetro manual.

Sección 340. Documentación técnica:

Artículo 341. Metrados. Se elaborará una planilla de metrados de las diferentes especialidades de ingeniería, tomando como base los planos de detalle, a continuación, se presenta un formato de planilla de metrados no limitativo como la siguiente Tabla 81.

Tabla 81*Formato de metrados*

Ítem	Descripción	Unidad	Metrado
100	Obras preliminares		
107.A2	Accesos a DME del tramo III	km	
600	Obras de arte y drenaje		
601.A	Excavación no clasificada para estructuras	m ³	
605.A1	Relleno para estructuras con material propio	m ³	
610.D	Concreto Clase D (f'c = 210 kg/cm2)	m ³	
610.H	Concreto Clase H (f'c = 100 kg/cm2)	m ³	
612.A	Encofrado y Desencofrado para Obras de Arte	m ²	
615.A	Acero de refuerzo f'y=4200 kg/cm2	kg	
635.D	Cuneta de banqueta revestida	m	
649.E2	Tubería Rígida No Perforada (6") DME	m	
670.D2	Roca acomodada al volteo para DME	m ³	
700	Transportes		
700.A	Transporte de material proveniente de Cantera para d<1km	m ³ -km	
700.B	Transporte de material proveniente de Cantera para d>1km	m ³ -km	
900	Protección ambiental		
907	Programación de cierre de obra		
901.A1	Retiro y almacenamiento de top Soil	m ²	
901.A2	Reposición de top Soil	m ²	
907.C	Acondicionamiento de desechos y material excedente	m ³	
907.H	Revegetación (instalaciones auxiliares)	m ²	
908	Programación de monitoreo ambiental		
908.A	Monitoreo de calidad de aire	camp	
908.D	Monitoreo de calidad de ruido	camp	

Artículo 342. Especificaciones técnicas. Se deberán realizar las especificaciones técnicas que describan de forma detallada los materiales,

procedimiento de construcción, criterios de calidad y controles necesarios para ejecutar la construcción del DME correctamente.

Artículo 343. Expediente técnico. Para la presentación al MTC, se elaborará un expediente técnico que abarcará estudios básicos, diseño, especificaciones técnicas, planos, planos, presupuesto. Se plantea el siguiente índice no limitativo:

Volumen 1. Resumen ejecutivo

1.1 Resumen ejecutivo

Volumen 2. Estudios básicos

2.1 Antecedentes

2.2 Informe de supervisión

2.3 Memoria descriptiva

2.4 Informe de topografía

2.5 Informe de geología

2.6 Informe de hidrogeología

2.7 Informe de peligro sísmico

2.8 Informe de geotecnia

2.9 Informe de diseño geotécnico

2.9.1 Informe de caracterización geotécnica

2.9.2 Informe de estabilidad física

2.10 Informe de diseño de accesos

2.11 Informe de diseño hidráulico

2.12 Informe de diseño de cierre

2.13 Informe socioambiental

Volumen 3. Especificaciones técnicas

3.1 Especificaciones técnicas

Volumen 4. Metrados

4.1 Metrados

Volumen 5. Planos

5.1 Planos generales

5.2 Planos de estudios Básicos

5.3 Planos de diseño

Volumen 6. Cronograma y presupuesto

6.1 Análisis de precios unitarios y fórmula polinómica

6.3 Presupuesto

6.4 Cronograma

Artículo 344. Programa de Manejo. Previo a la instalación u operación de los DME, se deberá elaborar un Programa de Manejo para DME que deberá ser aprobado por Ositran, con la finalidad de que se evalúe que se cuenta con las autorizaciones del Propietario del Predio, para evitar invasiones a los terrenos de propiedad privada, ya que dichas áreas no son del Estado, asimismo, evaluar la no existencia de restos arqueológicos, la descripción de componentes que pueden ser afectados por la actividad en la zona, las medidas de mitigación, compensación y otras. Se presenta un informe con el siguiente índice no limitativo:

1. Introducción

2. Programa de manejo

2.1 Descripción del DME

2.2 Descripción de actividades

2.3 Área de influencia

2.4 Línea base

2.5 Identificación y evaluación de impactos socioambientales

2.6 Medidas de prevención, mitigación de impactos socioambientales

2.7 Presupuesto y cronograma

3. Evaluación arqueológica

4. Acta de autorización del propietario

5. Plano de planta y sección

6.4 Gestión de riesgos

Artículo 401. Identificación de riesgos. El diseño y operación del DME deberán incorporar la identificación y valoración de riesgos geotécnicos, hidrológicos, climáticos, sociales y ambientales, considerando probabilidad y consecuencia. Esta identificación se documentará en una matriz de riesgos que sirva de base para priorizar medidas de mitigación.

Artículo 402. Medidas de control y priorización. En función de la matriz, se implementarán medidas preventivas en el diseño y/o correctivas proporcionales al riesgo (p. ej., drenajes, defensas contra erosión, refuerzos localizados,

limitaciones de carga), priorizando soluciones simples, comprobadas y de bajo costo.

6.5 Construcción y operación

Artículo 501. Operación. La operación del DME consistirá en la disposición ordenada del material por capas, control de alturas y perfilado de taludes según el diseño aprobado, evitando descargas puntuales que generen inestabilidad y manteniendo rutas de acceso seguras para la maquinaria. Durante la operación se vigilará permanentemente el estado del drenaje, la compactación y la conformación superficial; cualquier condición que comprometa la estabilidad o el ambiente exigirá la interrupción temporal de operaciones y la ejecución de medidas correctivas.

Artículo 502. Señalización. Es necesario instalar la señalización relacionada con el camino de acceso y en la localización del propio DME. Al ser de carácter provisional, los accesos deben ser edificados con el mínimo movimiento de tierras posible y cubrir con una capa de material granular para simplificar el tránsito de los vehículos en la construcción.

Artículo 503. Secuencia de colocación. La disposición del material excedente debe llevarse a cabo en estratos de alrededor 0.50 m de espesor, cada uno compactado con alrededor de diez (10) pasadas de rodillo, con el objetivo de reducir los vacíos y compactar, alcanzando al menos un índice de compactación del 60%.

Cuando se rellenan determinadas depresiones, generalmente se requiere diseñar el relleno en forma de terrazas, especialmente en áreas donde, debido al nivel de precipitaciones, el material puede saturarse con facilidad. Si por algún motivo se detienen las actividades de colocación de materiales, es necesario resguardar las áreas sin relleno en el menor tiempo posible.

En el proceso de relleno, se extraerá la capa orgánica del terreno, la cual se guardará para su uso futuro en las tareas de revegetación. Para el mantenimiento de la capa del suelo, es necesario considerar las particularidades

del ecosistema, ya que, en zonas con altas precipitaciones, el material acumulado puede ser removido con facilidad.

Artículo 504. Compactación. Tras la aplicación del material común, la compactación se realizará con al menos dos (02) pasadas de tractor de orugas, sobre las capas de espesor especificadas en el expediente y distribuidas de forma homogénea. Si se dispone de una combinación de material rocoso y material común, se compactará con al menos cuatro (04) pasadas de tractor de orugas, siguiendo el procedimiento previamente mencionado.

Artículo 505. Disposición de material rocoso. Es necesario ubicar el material rocoso desde el interior hacia el exterior de la superficie para facilitar que el material se desprenda y se pueda realizar una elección de tamaños. Los fragmentos más grandes deben ubicarse en el lado exterior, de manera que funcione como una protección final del talud, mientras que los materiales más finos se encuentren en el interior del sitio de disposición de materiales sobrantes. Previo a la compactación, es necesario ampliar la capa de material depositado, eliminando las rocas cuyo tamaño no permita el proceso habitual de compactación, que se llevará a cabo con al menos cuatro (04) pasadas de tractor.

Artículo 506. Protección de taludes. Se deben revestir los materiales de gran grosor con suelos de tamaño reducido. Las inclinaciones de los taludes laterales deberán ser revestidas con suelos orgánicos, pastizales u otra vegetación natural del área.

Artículo 507. Control de erosión. El acondicionamiento en zonas propensas a la erosión debe llevarse a cabo con el uso de pastizales, en taludes a través de la revegetación y la utilización de mantas biodegradables.

Artículo 508. Revegetación inicial. Después de depositar el material excedente, y tras realizar la compactación necesaria capa por capa, se procederá a ubicar la capa de materia orgánica. Esto permitirá que se realice la revegetalización con las especies vegetales autóctonas correspondientes, ya sean arbóreas, arbustivas o herbáceas, o en caso de ser necesario, mezclas de estas.

Artículo 509. Reparación de daños ambientales. El Contratista encargado de la construcción del DME tiene la obligación de reparar los daños ambientales que ocasione, asumiendo todos los costos pertinentes.

Artículo 510. Control de calidad y aseguramiento de calidad. Todos los materiales dispuestos en el DME deberán cumplir con las especificaciones del expediente técnico, garantizando su estabilidad física y resistencia al deterioro. La compactación se ejecutará por capas de espesor uniforme, verificando su grado mediante ensayos in situ (densidad y humedad) con la frecuencia establecida en el plan de control de calidad. El registro de ensayos, procedimientos y resultados será obligatorio y formará parte del libro de obra. Cualquier incumplimiento en los parámetros de compactación o calidad de material deberá corregirse antes de continuar con la disposición de nuevas capas.

Artículo 511. Registro fotográfico y documental de obra. Durante todas las fases de construcción del DME, el contratista deberá elaborar y mantener un registro fotográfico secuencial que documente las actividades ejecutadas, las condiciones iniciales del terreno, el avance de las obras y cualquier modificación relevante respecto al diseño aprobado. Las fotografías deberán estar fechadas, georreferenciadas y organizadas cronológicamente. Este registro formará parte del expediente técnico de obra, junto con planos conforme a obra, resultados de ensayos y actas de control. El conjunto de evidencias documentales será presentado a la supervisión para su validación y quedará archivado por el titular del proyecto como respaldo técnico y legal de la ejecución.

6.6 Monitoreo

Artículo 601. Alcance del monitoreo. El plan de monitoreo deberá garantizar la detección oportuna de signos de inestabilidad o impacto ambiental mediante inspecciones visuales, registro fotográfico y mediciones de los instrumentos de monitoreo.

Artículo 602. Reporte y acciones. Los hallazgos se documentarán en informes periódicos (semanal en fase crítica; mensual en operación normal) que incluyan observaciones, fotografías y medidas adoptadas; cualquier umbral de

alerta definido obligará a la notificación inmediata al supervisor y a la adopción de medidas correctivas.

Artículo 603. Umbrales de alerta. Se establecerán umbrales claros y medibles que activen acciones inmediatas. La falta de respuesta ante la superación de estos umbrales constituirá incumplimiento grave de la norma.

6.7 Mantenimiento

Artículo 701. Mantenimiento preventivo. El titular deberá ejecutar rutinas de mantenimiento preventivo: limpieza y despeje de cunetas y salidas, reposición de coberturas vegetales o de protección, control de erosión superficial y revisión de accesos, con una frecuencia definida según el riesgo, clima y uso.

Artículo 702. Mantenimiento correctivo. Ante daños por lluvias intensas, sismos u otros eventos, el titular adoptará medidas correctivas inmediatas (reperfilado, refuerzos, instalación de medidas de contención) y documentará las acciones en los registros de obra.

6.8 Gestión ambiental y social

Artículo 901. Cumplimiento ambiental. El DME deberá operar bajo cumplimiento de la normativa ambiental vigente; se aplicarán medidas para prevenir contaminación de agua y suelo, controlar polvo y ruido, manejar adecuadamente los residuos y proteger áreas sensibles identificadas en la evaluación preliminar.

Artículo 902. Relacionamiento social y patrimonio. Cuando existan comunidades o predios afectados se implementará un procedimiento de comunicación y atención de reclamos, y se activará el protocolo de hallazgos arqueológicos fortuitos conforme a la normativa cultural, suspendiendo trabajos y notificando a la autoridad competente cuando proceda.

6.9 Disposiciones finales

Artículo 901. Vigencia y aplicación. La presente guía entrará en vigor a partir de su aprobación y será de aplicación obligatoria en los proyectos viales

sujetos a la competencia del MTC; los expedientes aprobados con anterioridad deberán adaptarse en sus partes críticas cuando exista riesgo comprobado.

Artículo 902. Actualización e interpretación. La autoridad sectorial podrá emitir instrucciones complementarias y actualizar la guía periódicamente; para lo no previsto, la interpretación se guiará por criterios técnicos de ingeniería, socioambientales y la normativa vigente aplicable.

Conclusiones

El DME 15 se encuentra ubicado a la altura del km. 183+450 (a la izquierda de la carretera y a 160 m del eje de la vía) y recibirá parte del material excedente generado en los km. 175 al km. 185 de la carretera Oyon Ambo.

El material excedente está conformado principalmente por las rocas tipo andesita, caliza y los depósitos coluviales, eluviales y aluviales.

La excavación para obtener el material excedente se realizó mediante voladura en rocas buenas, masivas y duras y con maquinaria mecanizada en suelos y rocas malas.

El transporte del material excedente hacia el DME 15 se realizó con volquetes de 20 m³ y la disposición se realizó al volteo, de manera controlada, distribuyéndose en capas uniformes y compactadas con rodillo.

Las unidades geotécnicas de la fundación del DME 15 está caracterizado principalmente por suelo del tipo arena limosa (SM), suelo del tipo grava arcillosa (GC), bofedales y basamento rocoso del tipo andesita.

Para el análisis geotécnico se consideró la sección geotécnica B-B' y se analizaron superficies de falla globales no circulares.

Se propuso las alternativas 1, 2 y 3 con taludes locales simples de 1.5 H: 1 V, 2.5 H: 1 V y 2.0 H: 1 V respectivamente, cuyos resultados del análisis de estabilidad y deformaciones simplificadas fueron los siguientes: la alternativa 1 presentó un factor de seguridad estático de 1.36 menor al mínimo requerido, la alternativa 3 presentó un factor de seguridad estático de 1.49 menor al mínimo requerido y la alternativa 2 presentó un factor de seguridad estático de 1.61 mayor al mínimo requerido, pero un factor pseudoestático de 1.00 menor al mínimo requerido, sin embargo, su deformación máxima permitida es de 0.14% menor a la máxima permitida, por tanto, se concluye que, la alternativa 2 cumple con los factores de seguridad mínimos y deformación máxima permitida, por ende, es la

propuesta de diseño geotécnico aceptable para el DME 15 basada en la metodología de Hawley - Cuning.

El diseño geotécnico aceptable para el DME 15 consiste en taludes locales de 2.5 H : 1 V, altura de banquetas de 10 m, ancho de banquetas de 3 m, taludes globales de 2.7 H: 1 V, ancho máximo de 190 m, largo máximo de 210 m, altura máxima de 38 m y cota máxima de 4 417 m s.n.m.

A partir de la clasificación de los 22 factores (sismicidad, precipitación, ángulo de fundación, potencial de falla, estabilidad, etc.), se concluye que el diseño geotécnico propuesto para el DME 15 tiene una clasificación de estabilidad de 69.5, clase de peligro II, es decir, un peligro de inestabilidad bajo.

Realizado el cálculo de volúmenes, se concluye que la capacidad de almacenamiento de la propuesta de diseño geotécnico para el DME 15 es de 333 974 m³.

Recomendaciones

Se recomienda para otras investigaciones de estabilización de DME considerar medidas de estabilización como el sistema Erdox, Terramesh, Tecco, etc, y que puedan cumplir con los requerimientos de diseño de este tipo de estructuras, y permitan obtener ventajas técnicas (como mayor capacidad de almacenamiento), económicas (como menor costo), logísticas (como menor tiempo) o ecológicas (como menor área de afectación y menor cantidad de DME).

Se recomienda que la propuesta conceptual de “Guía Técnica Peruana para el diseño de depósitos de material excedente” plasmada en esta investigación sea tomada como base para futuras investigaciones que permitan validar, ampliar y actualizar sus criterios mediante datos de campo y experiencias en distintos entornos del país, implementando proyectos piloto, recibiendo retroalimentación multisectorial y evaluando su integración en la normativa oficial del MTC, con el objetivo de que, a través de un proceso participativo y técnico, evolucione hasta convertirse en una norma publicada y de aplicación obligatoria en el Perú.

Referencias bibliográficas

- Alva, J. (2006, febrero 3). *Introducción al diseño de presas de relave* [Presentación de diapositivas]. KUPDF. https://kupdf.net/download/-diseo-de-presas-relave_5e7eafa5e2b6f5fb08205f66_pdf
- Arredondo, S. (2023). *Evaluación de los ensayos geotécnicos para el aseguramiento de la calidad QA/QC en la relavera Esperanza, Chungar 2023*. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión]. Repositorio institucional UNDAC. http://repositorio.undac.edu.pe/bitstream/undac/3549/1/T026_72208481_T.pdf
- Asocars & Universidad del Valle. (2014). *Guía de localización y criterios de diseño y construcción de obras para protección contra inundaciones*. CVC. https://ecopedia.cvc.gov.co/sites/default/files/archivosAdjuntos/guia_localizacion_y_diseno_obras.pdf
- Australian National Committee on Large Dams. (2019). *Guidelines for Design of Dams and Appurtenant Structures for Earthquake*. ANCOLD. <https://ancold.org.au/product/guidelines-for-design-of-dams-and-appurtenant-structures-for-earthquake-july-2019/>
- Bieniawski, Z. (1989). *Engineering Rock Mass Classifications: A Complete Manual for Engineers and Geologists in Mining, Civil, and Petroleum Engineering*. Wiley. <https://www.wiley.com/en-us/Engineering+Rock+Mass+Classifications%3A+A+Complete+Manual+for+Engineers+and+Geologists+in+Mining%2C+Civil%2C+and+Petroleum+Engineering-p-9780471601722>
- Carreteras Panamericanas (2022, julio 12). *En las alturas: Carretera Oyón-Ambo en Perú*. Carreteras-pa. <https://www.carreteras-pa.com/es/reportajes/en-las-alturas-carretera-oyon-ambo-en-peru>
- Canadian Dam Association. (2019). *Dam Safety Guidelines*. CDA. <https://cda.ca/publications/cda-guidance-documents/dam-safety-publications>
- Chief of Engineer. (1970). *Engineering and Design. Stability of Earth and Rockfill Dams*. COE. <https://apps.dtic.mil/sti/tr/pdf/ADA402922.pdf>

- Consortio Supervisor Oyón Chacayan. (2019). *Expediente técnico mejoramiento de la carretera Oyón - Ambo, tramo II: desvió Cerro de Pasco (Km 181+000) – desvió Chacayan (Km 230+000)* [Informe técnico].
- Consortio Supervisor Oyón Chacayan. (2019a). *Informe de recopilación de información y plan de trabajo para los 03 DME* [Informe técnico].
- Consortio Supervisor Oyón Chacayan. (2019b). *Informe de topografía DME 15 (km 183+450)* [Informe técnico].
- Consortio Supervisor Oyón Chacayan. (2019c). *Informe de hidrología DME 15 (km 183+450)* [Informe técnico].
- Consortio Supervisor Oyón Chacayan. (2019d). *Informe de geología y geotecnia DME 15 (km 183+450)* [Informe técnico].
- Consortio Supervisor Oyón Chacayan. (2019e). *Informe de ingeniería geotécnica DME 15 (km 183+450)* [Informe técnico].
- Consortio Cesel - Sigt. (2015a). *Estudio de factibilidad y definitivo para el mejoramiento de la carretera Oyón Ambo tramo II* [Informe técnico].
- Consortio Cesel - Sigt. (2015b). *Estudio de peligro sísmico de la carretera Oyón Ambo tramo II* [Informe técnico].
- De la Cruz, Y. & Valderrama, E. (2021). *Evaluación del riesgo de deslizamiento de un depósito de relave inoperativo en la Cabecera de cuenca del Río Rímac, Chicla – Huarochirí – Lima considerando variables geotécnicas en el proceso de análisis jerárquico* [Tesis de pregrado, Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas]. Repositorio Académico UPC. <http://hdl.handle.net/10757/658816>
- Gaviria, P. & Suárez, A. (2019). *Sistema terramesh como alternativa técnica económica de estabilización de taludes con material excedente, caso DME 03 - tramo I - carretera Oyon Ambo* [Tesis de pregrado, Universidad Ricardo Palma]. <https://repositorio.urp.edu.pe/entities/publication/348b2f6f-2827-4878-853f-ad41be499c0a>
- Gobierno Regional de Ancash. (2022, agosto). *Informe de evaluación de riesgo por deslizamiento en el cerro Cruz de Shallapa, distrito de Chavín de Huántar, distrito de Huari del departamento de Ancash* [Informe técnico].

https://sigrid.cenepred.gob.pe/sigridv3/storage/biblioteca/15401_informe-de-evaluacion-de-riesgo-por-deslizamiento-en-el-cerro-cruz-de-shallapa-del-distrito-de-chavin-de-huantar-provincia-de-huari-del-departamento-d.pdf

Golder. (2020). *Análisis de estabilidad del depósito de relaves Ocroyoc de la U.M. Cerro de Pasco de la compañía minera Volcan* [Informe técnico].

Golder. (2022). *Análisis de estabilidad de los depósitos de desmonte de mina de la U.M. Isayacruz de la empresa minera Los Quenuales de Glencore* [Informe técnico].

Hawley, M. & Cuning, J. (2017). *Guidelines for mine waste dump and stockpile design*. Routledge. <https://www.routledge.com/Guidelines-for-Mine-Waste-Dump-and-Stockpile-Design/Hawley-Cuning/p/book/9781138197312>

International Code Council. (2012). *2012 International building code*. CDN. https://www-cdn.najah.edu/media/filer_public/1f/d2/1fd23408-3096-428b-910e-5ba3dae1862c/ibc.pdf

Luque, L. (2021). *Aprovechamiento del material de descarte obtenido a partir de voladura de túnel para su utilización en la base granular de un terramesh: caso carretera interoceánica KM 241 – Puno* [Tesis de pregrado, Universidad Cesar Vallejo]. Repositorio Digital Institucional César Vallejo. <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/88721>

Macedo, J., Bray J. & Liu C. (2023). *Seismic Slope Displacement Procedure for Interface and Intraslab Subduction Zone Earthquakes*. ASCE Library. <https://ascelibrary.org/doi/10.1061/JGGEFK.GTENG-11445>

Ministerio de Transportes y Comunicaciones. (2017). *Reglamento de protección ambiental para el sector transportes. Decreto supremo N° 004-2017-MTC*. <https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/5512503/345325-decreto-supremo-n-004-2017-mtc.pdf?v=1701632346>

Ministerio de Transportes y Comunicaciones. (2014). *Manual de carreteras: suelos, geología, geotecnia y pavimentos. Resolución directoral N.º 10-2014-MTC/14*.

https://portal.mtc.gob.pe/transportes/caminos/normas_carreteras/documentos/manuales/MANUALES%20DE%20CARRETERAS%202019/MC-05-

14%20Seccion%20Suelos%20y%20Pavimentos_Manual_de_Carreteras_OK.pdf

Ministerio de Transportes y Comunicaciones. (2013). *Manual de Carreteras: Especificaciones Técnicas Generales para Construcción. Resolución Directoral N° 22-2013-MTC/14.*

https://portal.mtc.gob.pe/transportes/caminos/normas_carreteras/MTC%20NORMAS/ARCH_PDF/MAN_10%20EG%202013.pdf

Ministerio de Transportes y Comunicaciones. (2005). *Manual de Gestión Socio Ambiental para Proyectos Viales Departamentales. Resolución Directoral N° 068-2005-MTC.*

<https://portal.mtc.gob.pe/transportes/socioambientales/documentos/MGSAPD.pdf>

Ministerio de Energía y Minas. (1997). *Guía Ambiental para la Estabilidad de Taludes de Depósitos de Desechos Sólidos de Mina. Ministerio de Energía y Minas.*

<https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/5217282/Gu%C3%ADa%20Ambiental%20para%20la%20Estabilidad%20de%20Taludes%20de%20Dep%C3%B3sitos%20de%20Residuos%20S%C3%B3lidos%20provenientes%20de%20Actividades%20Mineras.pdf?v=1696276281>

Ministerio de Vivienda Construcción y Saneamiento. (2018). *Norma técnica E030 diseño sismorresistente.*

<https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/217118/RM-355-2018-VIVIENDA.pdf?v=1594929095>

Pinado, M. (2021). *El método Monte Carlo en la evaluación de la estabilidad física de taludes mineros de material granular* [Tesis de maestría, Universidad Nacional del Centro del Perú]. Repositorio Institucional UNCP. <http://hdl.handle.net/20.500.12894/7445>

Reyes, A. (2015). *Análisis tridimensional de estabilidad de taludes por el método del equilibrio límite de depósitos de desmonte de mina.* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de Ingeniería]. Repositorio Institucional UNI. <http://hdl.handle.net/20.500.14076/4417>

Rocscience (2020). *Software de Análisis de Estabilidad Slide.* <https://www.rocscience.com/software/slide2>

- Romero, G. (2019, agosto 26). *Uso de depósitos de material excedente y su impacto en la gestión vial*. LinkedIn. <https://www.linkedin.com/pulse/uso-de-dep%C3%B3sitos-material-excedente-dmes-y-su-impacto-giomar-romero>
- Servicio Nacional de Geología y Minería. (2023). *Guía de Presentación de Proyectos de Botaderos de Estériles en Faenas Mineras del Ministerio de Minería del Gobierno de Chile*. Sernageomin. <https://www.sernageomin.cl/wp-content/uploads/2024/01/Gui%CC%81a-de-botaderos-2023-WEB.pdf>
- Spencer, E. (1967). *A Method of analysis of the Stability of Embankments Assuming Parallel Inter - Slice Force*. Ice virtual library. <https://www.icevirtuallibrary.com/doi/abs/10.1680/geot.1967.17.1.11>
- Suárez, J. (1998). *Deslizamientos y Estabilidad de Taludes en Zonas Tropicales*. Instituto de Investigaciones sobre Erosión y Deslizamientos. <https://desastres.medicina.usac.edu.gt/documentos/docgt/pdf/spa/doc0101/doc0101.pdf>

Anexos

Anexo 1: Caracterización geotécnica.....	1
Anexo 2: Figuras de análisis de estabilidad física.....	187
Anexo 3: Planos.....	197

Anexo 1. Caracterización geotécnica

En el presente anexo 1 se detalla la actualización de la caracterización geotécnica de los materiales del DME 15 con base en la geología local, las investigaciones geotécnicas de campo, los ensayos de laboratorio y bibliografía. Finalmente, se concluye con un cuadro resumen de los parámetros de resistencia de las unidades geotécnicas de la fundación y del material de desmonte del DME 15.

1.1 Peligro sísmico

Para el área de estudio ubicado en longitud -76.53° y latitud -10.48° , los sistemas de fallas y pliegues que influyen directamente son el Sistema de Fallas de la Cordillera Blanca. Asimismo, se ha determinado que la actividad sísmica está gobernada en gran medida por sismos de subducción de interfase e intraplaca, y en menor medida por sismos continentales o superficiales.

El estudio realizado por Cesel-Sigt (2015b) determinó la aceleración máxima del terreno a nivel de roca (Tipo B), a nivel de suelo muy denso o roca blanda (Tipo C), y a nivel de suelo muy rígido (Tipo D), junto con la definición de los espectros sísmicos de respuesta asociados a estos perfiles de suelo presentes en la zona de interés. La evaluación del peligro sísmico se realizó por medio de los métodos probabilísticos y determinísticos, definiendo niveles de aceleraciones máximas del movimiento sísmico del terreno para el sismo base de operación (OBE), el máximo sismo considerado y el máximo sismo creíble (MCE, por sus siglas en inglés), de acuerdo con los criterios establecidos en el International Building Code (ICC, 2012).

Asimismo, el ICC (2012) clasifica los suelos en 6 tipos (del A al F) en función de la velocidad promedio de las ondas de corte de un estrato de 30 m de profundidad. Por otro lado, las leyes de atenuación utilizadas en el análisis fueron determinadas por Youngs et al. (1997), Sadigh et al. (1997) y CISMID (2006) para las siguientes clasificaciones de sitio. Véase la siguiente Tabla 1.

Tabla 1*Clasificaciones de sitio según el ICC (2012) para las leyes de atenuación*

Tipo de Sitio	Nombre del Perfil del Suelo	Ley de Atenuación		Velocidad de las Ondas de Corte Vs (m/s)
B	Roca	Roca	Young et al. (1997) Sadigh et al. (1997)	$760 < V_s \leq 1500$
C	Suelo muy denso o roca blanda	Suelo	CISMID (2006)	$360 < V_s \leq 760$
D	Suelo firme	Suelo	Young et al. (1997) Young et al. (1997)	$180 < V_s \leq 360$

Nota. Obtenido de (Cesel – Sigt, 2015b).**1.1.1 Método probabilístico**

El peligro sísmico probabilístico se define por la probabilidad que en un lugar determinado ocurra un movimiento sísmico que genere una aceleración igual o mayor que un valor dado.

La evaluación probabilística del peligro sísmico considera la nueva definición de fuentes sismogénicas desarrolladas por Gamarra y Aguilar (2009) que modelan el buzamiento del mecanismo de subducción de la plaza de Nazca bajo la placa Sudamericana de acuerdo con el patrón de comportamiento en profundidad de la sismicidad. Estas fuentes han sido clasificadas según el mecanismo de rotura (interfase e intraplaca) y se caracterizan a través de parámetros sismológicos al año 2012. Cabe mencionar que las fuentes sismogénicas fueron definidas considerando datos de mecanismos focales y la distribución de la sismicidad de la zona en medición.

Conocida la sismicidad de las fuentes y las leyes de atenuación de ondas sísmicas asignadas a cada una de estas, el peligro sísmico probabilístico fue calculado en el estudio de Cesel-Sigt (2015b), considerando la suma de los efectos de la totalidad de las fuentes sismogénicas analizadas (14 fuentes sismogénicas de Mw máx de 8.6), la distancia entre cada fuente y el sitio de interés o zona de estudio que se requiere evaluar. La evaluación del peligro sísmico fue realizada utilizando el programa de cómputo CRISIS 2007 v7.2 desarrollado por Ordaz et. al. (2007). Finalmente, los resultados de las aceleraciones máximas horizontales para suelos Tipo B, C y D esperadas con el método probabilística se muestran en la Tabla 2.

Tabla 2

Aceleraciones máximas esperadas para suelo Tipo B, C y D método probabilístico

Tipo	Descripción	Coordenadas Geográficas		Periodo de Retorno (Tr) / PGA (g)				
		Longitud	Latitud	100	200	475	975	2475
B	Roca	-76.53	-10.48	0.19	0.23	0.27	0.31	0.41
C	Suelo muy denso o roca blanda	-76.53	-10.48	0.22	0.26	0.33	0.41	0.54
D	Suelo firme	-76.53	-10.48	0.24	0.28	0.39	0.47	0.61

Nota. Obtenida de (Cesel – Sigt, 2015b).

Las aceleraciones de respuesta espectral del Sismo Base de Operación (OBE), que corresponde al evento que produce el mayor nivel de movimiento del suelo durante el tiempo de vida útil de la estructura proyectada, por el método probabilístico puede ser representado en un espectro de respuesta con 5% de amortiguamiento crítico determinado para un 10% de probabilidad de excedencia en 50 años de periodo de exposición o vida útil, es decir, para un periodo de retorno de 475 años. Estos resultados se muestran en la Tabla 3. Las aceleraciones de respuesta espectral del Sismo Máximo Considerado (MCE), que corresponde al evento que puede generar el movimiento más crítico del suelo al considerar la evaluación de desempeño de una estructura ante las cargas a las que estará expuesta, por el método probabilístico puede ser representado en un espectro de respuesta con 5% de amortiguamiento crítico determinado para un 2% de probabilidad de excedencia en 50 años de periodo de exposición o vida útil, es decir, para un periodo de retorno de 2 475 años. Estos resultados se muestran en la Tabla 3.

Tabla 3

Aceleraciones máximas horizontales para suelos Tipo B, C y D método probabilístico

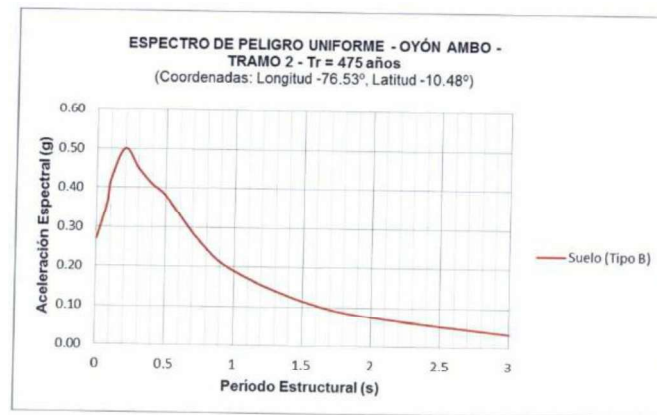
Tipo	Descripción	Sismo Base de Operación (OBE)	Sismo Máximo Creíble (MCE)
		Periodo de Retorno (Tr) / Aceleración (g)	
		475 años	2 475 años
B	Roca	0.27	0.41
C	Suelo muy denso o roca blanda	0.33	0.54
D	Suelo firme	0.39	0.61

Nota. Obtenido de (Cesel – Sigt, 2015b).

Asimismo, en el estudio se estimaron el espectro de diseño siguiente la metodología recomendada por el ICC (2012). Los espectros se determinaron para los suelos tipo B, C y D, y están basados en los resultados de las ordenadas espectrales para 0.2 y 1.0 segundo de los peligros de peligro uniforme determinados para un periodo de retorno de 2 475 años correspondiente a un 2% de probabilidad de excedencia en 50 años de periodo de exposición o vida útil que representa al MCE. Véase la Figura 1 y Figura 2.

Figura 1

Espectro de Peligro Uniforme para suelo tipo B – $T_r = 475$ años método probabilístico



Nota. Obtenido de (Cesel – Sigt, 2015b).

Figura 2

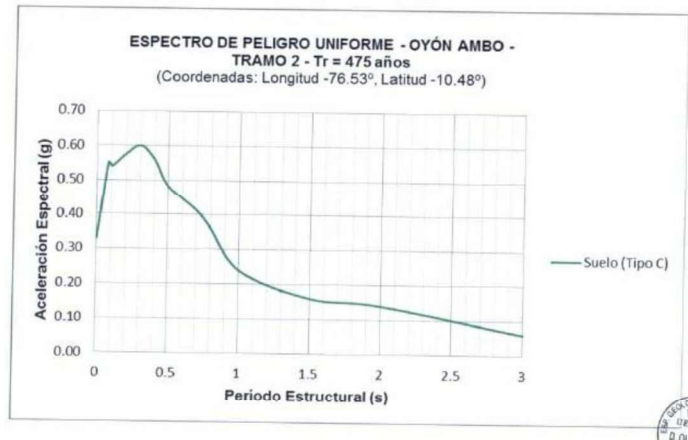
Espectro de Peligro Uniforme – $T_r = 2475$ años método probabilístico



Nota. Obtenido de (Cesel – Sigt, 2015b).

Figura 3

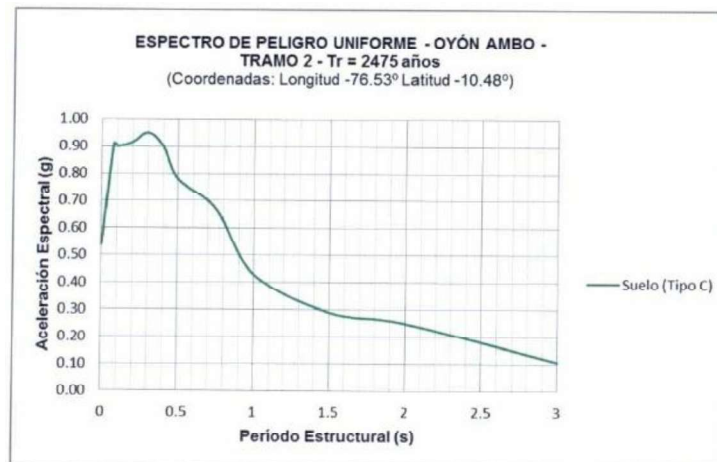
Espectro de Peligro Uniforme para suelo tipo C – $T_r = 475$ años método probabilístico



Nota. Obtenido de (Cesel – Sigt, 2015b).

Figura 4

Espectro de Peligro Uniforme para suelo tipo C – $T_r = 2475$ años método probabilístico



Nota. Obtenido de (Cesel – Sigt, 2015b).

1.1.2 Método determinístico

La evaluación determinística del peligro sísmico se desarrolla considerando un escenario sísmico específico para el área de estudio. Dicho escenario debe representar la generación de un evento sísmico característico en una fuente identificada y localizada a la menor distancia de la zona de estudio. De este modo, el análisis del peligro sísmico por el método determinístico

permite estimar el movimiento sísmico más desfavorable para el área de estudio; sin embargo, se debe señalar que este método no proporciona información referente a la probabilidad de ocurrencia del evento sísmico dominante seleccionada para el análisis, ni de la probabilidad de ocurrencia del evento sísmico dominante seleccionada para el análisis ni de la probabilidad de que este ocurra en la ubicación asumida. Tampoco provee información sobre los niveles del movimiento sísmico que pueden ser esperados en un determinado periodo de tiempo, es decir, los valores de aceleraciones espectrales determinísticos no están asociados a una probabilidad de excedencia determinada ni a un periodo de exposición específico. Además, no cuantifica los efectos de las incertidumbres de los parámetros asumidos en el proceso de estimar las características del movimiento sísmico.

Finalmente, se debe indicar que, para cada fuente sismogénica considerada en el análisis, el Sismo Máximo Creíble (MCE) se determina en base a la información del catálogo sísmico y la información técnica de la región. En ese sentido, toda obra civil debe ser diseñada para la ocurrencia del MCE de tal forma que se puedan admitir danos considerables en la estructura, mas no el colapso de esta.

Se identificaron dos (2) fuentes en cuyas áreas se concentra una gran actividad sísmica y de mayor influencia para la zona de estudio. Estas fuentes correspondieron a los sismos de la zona de subducción de interfase e intraplaca y generan los movimientos sísmicos dominantes para la zona de estudio. Prevalece los sismos de subducción de intraplaca inferior, producto de la interacción de las placas de Nazca y Sudamericana, con un valor aproximado de aceleración máxima en roca (tipo B) y suelo firme (tipo D) de 0.41 g y 0.63 g respectivamente. Finalmente, en la Tabla 4 se muestran los resultados de las aceleraciones horizontales máximas por el método determinístico considerando procesos de ruptura que generen los sismos dominantes de subducción de interfase intraplaca.

Tabla 4

Aceleraciones Horizontales Máximas debido a la actividad sísmica de subducción intraplaca para suelo Tipo B y D – Mw 7.8 método determinístico

Tipo	Descripción	Sismo de subducción	Aceleración Máxima del Terreno (S _a) (g)
B	Roca	Sismos de Interfase	0.13
		Sismos de Intraplaca	0.41
D	Suelo firme	Sismos de Interfase	0.22
		Sismos de Intraplaca	0.63

Nota. Obtenido de (Cesel – Sigt, 2015b).

Asimismo, los valores estimados por el método determinístico considerando procesos de rotura de fallas cercanas al área de estudio se presenta en la Tabla 5.

Tabla 5

Magnitudes y Aceleraciones Horizontales Máxima en el Área de Estudio considerando procesos de rotura de fallas método determinístico

Zona de Estudio	Falla	Longitud de La Falla (km)	Longitud de Ruptura (km)	Magnitud (Mw)	Distancia (km)	Aceleración Máxima del Terreno (g)
Carretera Oyón Ambo Tramo II (- 76.53°, - 10.48°)	Sistema de Fallas de la Cordillera Blanca (PE-07)	220	110	7.57	58	0.11

Nota. Obtenido de (Cesel – Sigt, 2015b).

El espectro de respuesta de aceleraciones del Sismo Máximo Creíble (MCE) determinístico es estimado, según el ICC (2012), como 1.5 veces la mediana (P. 50) de las aceleraciones generadas por eventos sísmicos dominantes considerando 5% de amortiguamiento. Los resultados se muestran en la Tabla 6.

Tabla 6

Aceleraciones Horizontales Máximas para el MCE para suelo Tipo B y D método determinístico

Zona de Estudio	Tipo	Descripción	Sismo de subducción	Aceleración Horizontal Máxima (g) MCE
Carretera Oyón Ambo Tramo II (-76.53°, -10.48°)	B	Roca	Sismos de Interfase	0.20
			Sismos de Intraplaca	0.62
	D	Suelo firme	Sismos de Interfase	0.33
			Sismos de Intraplaca	0.95

Nota. Obtenido de (Cesel – Sigt, 2015b).

1.2 Geología

En este segmento se presenta un resumen del estudio básico de geología elaborado por el CSOCH (2019d), que comprendió un levantamiento geológico local a detalle del DME 15 (km 183+450) y su zona de influencia, el análisis de cada unidad litoestratigráfica que aflora en el área y su análisis de las características geotécnicas.

1.2.1 Geología estructural

La zona ha experimentado levantamiento epirogenético y hundimientos, acompañados de vulcanismo y relleno de depresiones estructurales, lo que ha conllevado a la formación de plegamientos con orientación SE-NO en el flanco noreste del sinclinal invertido, fallamientos regionales con orientación andina, la quebrada Huachos es posible falla regional, e interceptan fallas transversales de orientación noreste a sureste. La geodinámica actual de la zona se le considera normal por cuanto no hay evidencias de fenómenos desestabilizadores que comprometen seriamente la integridad física del relieve, tales como ocurrencia de asentamientos, deslizamientos o aluviones de grandes proporciones.

1.2.2 Geología regional

En este segmento, se presenta la morfología y estratigrafía a detalle del DME 15 y su zona de influencia.

1.2.2.1 Descripción del contexto morfológico.

La zona del proyecto se ubica en el sector oriental de la cordillera de los Andes, región puna y quechua, topográficamente el área de estudio se encuentra en las altiplanicies interandinas en quebrada Huachos de pendiente suave a moderado con colinas alargadas con dirección sur a norte. Posee características climáticas que varían entre 10°C a 0°C caracterizado por presentar un clima frío y dos estaciones del año bien marcadas, una de lluvias entre noviembre-marzo; y estación de estiaje entre abril – octubre, caracterizada por la ausencia de lluvias. La vegetación de la zona se compone de pastos cortos de carácter silvestre como Ichu en las profundidades de los valles. En ciertas pendientes de los cerros surgen puquiales con presencia de agua, y se puede apreciar una fina turba que forman los bofedales y champas. Además, hay algunas gramíneas y pequeñas hierbas, esta flora actúa como pasto para el ganado ovino y los auquénidos de la zona. Es incuestionable que las alzas y bajas están preestablecidas por los factores endógenos, las fuerzas externas y el impacto determinante de las propiedades físico-mecánicas de cada una de las estructuras. Por esta razón, los relieves negativos de topografía suave se relacionan con los cimientos de rocas frágiles y blandas, mientras que los sitios empinados y abruptos están formados por materiales duros y resistentes (CSOCH, 2019d).

La unidad geomorfológica está localizada al comienzo del frente oriental de los Andes, en un terreno llano y levemente ondulado, producto de la acumulación de sedimentos clásticos del Terciario superior y Cuaternario superior. Se ha alterado significativamente por la erosión del agua, que ha creado valles y arroyos transversales a los Andes con flancos poco profundos. La geomorfología es el producto de los procesos endógenos, tectónicos, erosivos y geodinámicos que han modelado la superficie de la región. Posteriormente, en el Plio - Pleistoceno y en el Neógeno tardío, se presentaron fases de erosión. Todos estos sucesos llevaron a la erosión total de las series de formaciones Cretáceas y Terciarias en la quebrada Huachos, dando como resultado el modelado presente de la superficie del suelo (CSOCH, 2019d).

1.2.2.2 Estratigrafía del contorno.

Para la realización de la geología, se tomó la información de INGEMMET solo como base para la nomenclatura litoestratigráfica regional desarrollado por el INGEMMET (1973), cuadrángulo de Oyón hoja 22-j, Boletín 26 John Cobbing. Se detalla que el depósito de desmonte se encuentra asentada sobre rasgos morfológicos, con topografía moderada, afloramientos de rocas de edad del Cretáceo y Terciario inferior representadas por secuencia sedimentarias correspondiente a las formaciones de Pariatambo, Chulec, Jumasha de ambiente marino y rocas volcánicas del grupo Calipuy. Afloran de acuerdo con su antigüedad:

1.2.2.2.1 Formación Chulec (Km-Ch).

La formación Chulec consiste en decenas de metro de lutitas, margas, y calizas nodulares, se caracteriza por presentar color de intemperismo de color crema a gris amarillento, como los sedimentos componentes de la formación Chulec son mayormente blandos, la topografía que se desarrolla es de lomadas de pendientes suaves. Su edad de la formación por estar concordantes con la formación Pariatambo según Benavides (1956) lo asigna una edad del Albiano medio.

1.2.2.2.2 Formación Pariatambo (Ks-pa).

Consiste en calizas intemperizadas de color gris masiva en estratos con grosor variable en más de 50 m de caliza con intercalaciones delgadas de lutitas, y margas bituminosas en superficie fresca. Es de color gris negruzco, generalmente tiene olor fétido su estratificación es delgada y uniforme de tal manera forman lajas bastante características, sobreyace e infrayace concordantemente a las formaciones Chulec y Jumasha respectivamente. De edad Albiano, Benavides (1956) por la fauna que presenta y está compuesta mayormente por especies de amonites que indican su edad de Albiano Medio.

1.2.2.2.3 Formación Jumasha (Ks-j).

Las calizas de la formación alcanzan grosores hasta de 800 m, y el gran afloramiento en el sector Oriental de la región suprayace a las formaciones albianas del Pariatambo. Chulec en concordancia y discordancia paralela e infrayace a las calizas de la formación Celendín. Su afloramiento es fácilmente

reconocible por su tono gris claro de meteorización y el marcado efecto topográfico que ejercen. Consiste en calizas y algunas dolomitas grises y amarillentas de grano fino a medio en capas medianamente gruesas. Su edad por poseer poca fauna y su posición estratigráfica, indica posiblemente entre el Albiano superior y el Turoniano superior (Benavides, 1956) correlacionables con las secuencias del grupo Otuzco (Cajamarca).

1.2.2.2.4 Grupo volcánico Calipuy (KTi-ca).

Este volcánico reposa en discordancia sobre la formación Jumasha y otras unidades plegadas cuya característica litológica de la formación está constituida por tobas y brechas de naturaleza lava andesítica piroclástica, con coloración gris rosado con alternancia de color gris amarillento. Esta formación se presenta en bancos y alternancia compactos formando cornisas y en forma de depósitos andesita tobáceas de consistencia suave. Su edad, no es fácil determinar por falta de fósiles se presume la deposición fue antes del inicio del Terciario.

1.2.2.2.5 Depósitos cuaternarios.

Estos depósitos conocidos como material cuaternario mayormente provienen de la desintegración físico y mecánica de rocas preexistente que han sido alterados por la meteorización hasta transformarlas prácticamente en limos de grano fino a arcillas, dichos materiales se encuentran in situ y otros han sido transportados diferencialmente por agentes externos, mayormente por efectos del agua y viento. Entre ellos se tiene:

A. Depósitos coluviales (Q-co)

Son acumulaciones de depósitos sueltos compuestos por detritos de rocas de basamento. Están compuestos por una mezcla heterogénea de cantos angulosos de rocas calizas en una matriz limo arcillosa, no presentan estratificación. Los depósitos se observan en el pie de montes inclinados a ambos flancos de la quebrada Huachos.

B. Depósitos aluviales (Q-al)

Los depósitos aluviales son depósitos no consolidados. Están constituidos por los materiales arrastrados por los ríos y depositados a lo largo de

su trayecto formando los lechos, terrazas que se han formado a ambos márgenes de la quebrada Huachos que indican las fluctuaciones del caudal y la migración lateral y llanuras de inundación de espesores variables. Los depósitos aluviales recientes que se encuentran generalmente en los cauces de los riachuelos están constituidos principalmente por bloques y bolones, grava, arenas, limos y arcilla, de clastos subredondeados a redondeados. La resistencia de estos materiales es baja, son suelos muy anisotrópicos en su distribución, sus propiedades están estrechamente relacionadas con la granulometría.

C. Depósitos fluvioglaciares (Q-fg)

Es el material acarreado por medio fluvial (agua) y glaciar (hielo) que se deposita a manera de llanuras con característica de erosión fluvial producto del deshielo y que guarda relación con el proceso erosivo activado por el levantamiento andino y las diferentes etapas de glaciación. Están constituidos por gravas, arenas, limos pobremente graduada en horizontes con intercalaciones de arena mal seleccionada color gris claro densidad media, con bloques y bolones con fragmentos sub angulosos a sub redondeados, grava gruesa, no plástico algo consolidados los fragmentos son de composición andesita, caliza y otras rocas dependiendo del lugar de procedencia.

1.2.3 Geología local

En este segmento, se presenta la morfología, la litoestratigrafía, el componente edáfico, la geoestructura y la evaluación geodinámica a detalle del DME 15 (km 183+450) y su zona de influencia.

1.2.3.1 Morfología.

La zona en estudio se encuentra a una altitud de 4,400 msnm, está dominada por un paisaje de relieve ondulado, con la presencia de alineamientos de cerros tipo AA que resaltan sobre la altiplanicie en los sectores de cerro Huarmi Huañusca. La geomorfología es el resultado de los procesos endógenos, tectónicos, erosivos y geodinámicas responsables del modelado de la superficie de la región, que posteriormente se produjeron etapas de erosión en el Plio - Pleistoceno al Neógeno tardío. Todos estos eventos produjeron la erosión completa de las secuencias de las formaciones Cretáceas y Terciarias en la

quebrada Huachos y el resultado es el modelado actual de la superficie del terreno. Se detalla a continuación:

1.2.3.1.1 Superficie de erosión o superficie Puna.

Constituida por los niveles más altos en el tramo de la carretera, presentando una superficie de pendientes suaves a moderadas, dentro de esta unidad se presentan pequeñas terrazas. Estas planicies labradas en rocas volcánicas como lavas, brechas volcánicas, reflejan una superficie de erosión, morrénico y fluvioglaciario, sobre las formaciones volcánicas de Calipuy y calizas de la formación Jumasha (Véase la Figura 5).

1.2.3.1.2 Unidad de valle glaciar.

Se caracteriza por presentar generalmente flancos de pendientes moderadas a fuertes, configurando una sección típica en “U”. Los fondos de los valles están conformados por una gran cobertura aluvial y residual formando terrazas fluvio aluviales las que se presentan amplias a moderadas espacios, luego se estrechan considerablemente hacia parte baja. Las laderas del valle se encuentran parcialmente cubiertos por depósitos de materiales de rocas volcánicas descompuestas como son coluviales, coluvio - deluviales, y depósitos residuales. (Véase la Figura 5).

Figura 5

Vista del DME 15, margen derecha del valle Huachos debajo de la carretera Oyón - Yanahuanca



Nota. Obtenido de (CSOCH, 2019d).

1.2.3.2 Litoestratigrafía.

1.2.3.2.1 Formación volcánico Calipuy.

En el área de evaluación la roca volcánica aflora a pocos metros del contacto con las calizas Jumasha, caracterizado por el afloramiento de andesita de textura porfírica, traquita y traquiandesitas con intercalación de capas lenticulares de brechas y aglomerados tobáceos, los componentes de las brechas son fragmentos de roca volcánica angulosos a subredondeados y de dimensiones muy variadas con tonos de coloración de gris oscuro con tonalidades violáceas, rojizas, verdosas y marrones. En la parte inferior, zona del depósito, afloran tobas andesíticas totalmente alterados se observa que el intemperismo es relativamente profundo hasta el punto de que prácticamente no se observa afloramiento fresco debido a la presencia de agua que filtra de puquiales de parte alta de la quebrada, su textura se encuentra totalmente obliterada de color morado a violáceo con patinas de óxido color amarillento a verdusco (Véase la Figura 8). Los bancos de rocas están depositados como derrames lávicos levemente horizontales o suavemente inclinados y están cubiertos por depósitos morrénicos provenientes de la glaciación pleistocénica y suprayace a calizas de la formación Jumasha. El volcánico Calipuy tentativamente se le asigna la edad de Terciario inferior (paleoceno-oligoceno). Véase la Figura 6 y la Figura 7.

Figura 6

Se observa parte del DME 15 debajo de la carreta en roca volcánica meteorizada



Nota. Obtenido de (CSOCH, 2019d).

Figura 7

Vista de roca andesita en proceso de alteración por intemperismo



Nota. Obtenido de (CSOCH, 2019d).

1.2.3.3 Componente edáfico.

Estos depósitos conocidos como material cuaternario mayormente provienen de la desintegración de rocas preexistente como rocas andesitas, traquiandesitas rocas que han sido alterados por la meteorización hasta transformarlas prácticamente en limos. También, arenas de grano fino, conservando solamente la textura de los pórfidos, por la descomposición fisicoquímico en los últimos miles de años, los cuales han sido transportados o no y en general se encuentran sin consolidar o poco consolidadas. En la zona de estudio se encuentran los siguientes depósitos:

1.2.3.3.1 Depósitos residuales (Q-re).

Los depósitos o suelos residuales son los que se forman en el sitio por procesos de meteorización física y química (movimiento del agua intersticial) y se desarrollan principalmente, por el clima, la lluvia, los regímenes de temperatura, la litología del material de roca (saprolito) están compuestos por arenas, limos y arcillas, esporádicamente presentan gravas. Estos se encuentran poco consolidados, cubriendo, los afloramientos rocosos con una capa generalmente delgada, o puede llegar desde unos pocos metros de espesor a profundidades no determinadas. Desde el punto de vista geotécnico este tipo de depósito presentan una estabilidad moderada a buena, sobre todo cuando son

generados de rocas volcánicas sin embargo al ser saturados por agua son los más sensibles a la ocurrencia de deslizamientos superficiales (Ver Figura 8).

Figura 8

Roca andesita muy alterada con presencia de óxidos por descomposición de minerales máficos y feldespatos



Nota. Obtenido de (CSOCH, 2019d).

1.2.3.3.2 Depósitos de bofedal (Q-bo).

Estos depósitos pueden ser temporales o permanentes en la zona, se observa en la parte baja de la carretera en las depresiones con zonas anegadas, donde se encuentran depósitos de arenas limosas con arcillosas con materia vegetal descompuesta formando zonas pantanosas en época de lluvia susceptible a remoción (Ver Figura 9).

Figura 9

Vista de material bofedal bastante húmedo en proceso de desecación



Nota. Obtenido de (CSOCH, 2019d).

1.2.3.3.3 Depósitos aluviales (Q-al).

Considerados como suelos friccionantes presentado por gravas arcillosas con cantos y bolos en porcentajes de 10% los fragmentos son rocas de andesita, de color gris morado, de formas subangulosos a subredondeados de compacidad baja a media. También, se encontró depósitos de suelos cohesivos consiste en limo-arcillosos con gravas y cantos con gravas y cantos en un 5% con baja plasticidad húmedo (18%).

1.2.3.3.4 Depósitos fluvio glaciares (Q-fg).

Con esta denominación, se describe una colina de depósitos de material que se encuentran en la parte Norte del depósito de desmonte. Están constituidos por gravas, arenas, limos pobremente graduada de color gris claro, marrón bloques < 50 cm de diámetro con fragmentos sub angulosos a sub redondeados, y los fragmentos son de composición andesita en matriz limo arcilloso y está cubierto por material residual y pastos naturales (Ver Figura 10).

Figura 10

Vista de zona del DME 15, acumulación de material topsoil, material fluvio-glacial, material bofedal cerca al riachuelo



Nota. Obtenido de (CSOCH, 2019d).

1.2.3.4 Geoestructura.

En el sitio donde se ubica el DME 15 y a los alrededores de la zona no se observan indicios de estructuras tectónicas mayores. Por las condiciones del relieve predominantemente semi- plano, se han registrado plegamientos suaves y ondulaciones de los pseudo estratos volcánicos. Observando en el área un ligero plegamiento de los pseudo estratos con inflexión hacia S80°E con buzamiento de 20°SO. No se puede establecer enfáticamente las fallas regionales que se encuentran en la zona, posiblemente están cubiertos por acumulación de depósitos sueltos. Las fallas locales más representativas la constituyen el patrón de fracturamiento o diaclasamiento de la roca, por efectos debidos a la descompresión del macizo y la característica que presentan las rocas volcánicas que son producidos por flujos de lava, que al enfriarse se forman alineamientos con un patrón preestablecido de fracturas y juntas con orientaciones preferenciales, hasta en tres sistemas conjugados; además en profundidad, tienden a cerrarse hasta presentar una forma masiva. No fue observada ninguna evidencia neotectónica, es decir se descarta la presencia de fallas activas. Se realizaron dos (02) estaciones geomecánicas que consisten en la caracterización y mapeo de fallas, familias de fracturas y/o discontinuidades presentes en el macizo rocoso. Esta evaluación se realizó siguiendo la

clasificación geomecánica de Bieniawski de 1989. Debido a que dentro del área del proyecto no se encontró un afloramiento rocoso, se realizaron las estaciones geomecánicas en una zona aledaña al proyecto que presenta características similares al macizo existente en el área del proyecto, específicamente en el corte de la carretera. En la siguiente Tabla 7, se muestra la ubicación de las estaciones geomecánicas.

Tabla 7
Clasificación geomecánica del macizo rocoso

Ubicación	Valorización											Litología	Calidad	Clase
	Resistencia	RQD	Separación	Longitud	Abertura	Rugosidad	Relleno	Alteración	Agua	RMR	Corrección			
DME 15	12	13	15	5	1	3	6	3	15	73	72	Andesita	Buena	II

Nota. Obtenido de (CSOCH, 2019d).

En la siguiente Tabla 8, se presentan las familias de discontinuidades mapeadas en zonas aledañas al proyecto con características similares al macizo rocoso.

Tabla 8
Resumen de las discontinuidades

Rumbo	Buzamiento	Tipo de Fractura
S80°E	20°SE	Sueldo estrato
E-O	50°N	Fractura
N55°E	84°NO	Fractura
N70°E	60°NE	Fractura
N60°O	63°NO	Fractura
N15°E	85°SE	Fractura
N20°E	80°NO	Fractura
N10°E	62°NO	Fractura

Nota. Obtenido de (CSOCH, 2019d).

1.2.3.5 Evaluación geodinámica.

En el área de estudio no se ha observado evidencias mayores que indiquen la ocurrencia de fenómenos de geodinámica externa. De acuerdo con sus características morfológicas, los fenómenos geodinámicos, que tendrían

relación a construcción del depósito son los generados por los agentes pluviales, las fuertes variaciones de temperatura, la escorrentía de las lluvias genera procesos erosivos y arrastre de sólidos por las quebradas y laderas. En el área del depósito se identificó manifestaciones de aguas subterráneas que tendrían impacto significativo con la construcción (Ver Figura 11). En las laderas de los cerros existen afloramientos puntuales de puquiales con escaso caudal de aguas subterráneas (Ver Figura 10).

Figura 11

Vista de talud de deslizamiento reciente en zona del depósito



Nota. Obtenido de (CSOCH, 2019d).

1.3 Investigaciones Geotécnicas

En la presente sección se describen las investigaciones geotécnicas de campo efectuadas en el área de estudio por el CSOCH (2019d). Así mismo, realizaron investigaciones en el material de desmonte, el cual representa el excedente de la construcción de la carretera Oyón Ambo tramo II. Este desmonte se fue disponiendo en el DME 13 (175+740). El plano DME-15-GG-001 del anexo 3 muestra la ubicación de las investigaciones geotécnicas ejecutadas en el área de estudio. Las cantidades se resumen en la Tabla 9, Tabla 10, Tabla 11 y Tabla 12.

Tabla 9*Investigaciones geotécnicas de campo ejecutadas en el área del DME 15*

ID	Descripción	Cantidad
1	Calicatas	04
2	Trincheras	08
3	Densidad in situ	01
4	Permeabilidad in situ	01
5	Refracción sísmica	454 m
6	MASW	05

Nota. Obtenido de (CSOCH, 2019d).**Tabla 10***Ensayos de laboratorio ejecutadas en muestras de suelos de la fundación del DME 15*

ID	Descripción	Cantidad
1	Análisis granulométrico por tamizado	02
2	Límites de atterberg	02
3	Clasificación SUCS	02
4	Corte directo	01
5	Propiedades físicas de la roca	01
6	Comprensión triaxial de la roca	01

Nota. Obtenido de (CSOCH, 2019d).**Tabla 11***Investigaciones geotécnicas de campo ejecutadas en el material de desmonte*

ID	Descripción	Cantidad
1	Macrogranulometría	03
2	Permeabilidad in situ	03

Nota. Obtenido de (CSOCH, 2019d).**Tabla 12***Ensayos de laboratorio ejecutadas en muestras de desmonte*

ID	Descripción	Cantidad
1	Análisis granulométrico por tamizado	03
2	Preparación para curvas homotéticas	03
3	Ensayos de corte directo	03

Nota. Obtenido de (CSOCH, 2019d).**1.3.1 Calicatas**

Son excavaciones a cielo abierto y fueron ejecutadas con una retroexcavadora marca Hidromek modelo HMK 102B. El objetivo fue evaluar la distribución espacial de material superficial, identificación de estratigrafía dentro del área de investigación del subsuelo y toma de muestras para ensayos de

laboratorio. En cada una de las calicatas se realizó un registro geotécnico detallado que incluye un perfil estratigráfico, nivel freático detectado y fotografías. El supervisor seleccionó las muestras alteradas representativas de suelo de aquellos horizontes representativos con el fin de caracterizar los materiales mediante ensayos en laboratorio. El registro estratigráfico de las calicatas se muestra en el sub anexo. Las ubicaciones de las calicatas ejecutadas se muestran en la siguiente Tabla 13.

Tabla 13

Ubicación de calicatas en DME 15

Calicata	Este (m)	Norte (m)	Cota (m.s.n.m.)	Nivel Freático (m)	Profundidad (m)
C-1	326 449.13	8 827 233.76	4 375.19	3.20	3.80
C-2	326 485.63	8 827 166.03	4 383.98	4.20	4.40
C-3	326 521.33	8 827 250.57	4 382.59	3.10	4.30
C-4	326 578.12	8 827 174.07	4 395.29	N.E	4.30

Nota. Obtenido de (CSOCH, 2019d).

1.3.2 Trincheras

Es un método de exploración que se utiliza para muestrear capas de suelo en superficies que contienen zanjas excavadas a lo largo de un talud vertical o inclinado, y tienen por finalidad obtener el perfil estratigráfico del suelo. El registro estratigráfico de las trincheras se muestra en el sub anexo. Las ubicaciones de las trincheras registradas se muestran en la siguiente Tabla 14.

Tabla 14

Ubicación de trincheras en DME 15

Calicata	Este (m)	Norte (m)	Cota (m s.n.m.)	Nivel Freático (m)	Profundidad (m)
T-1	326 587.56	8 827 225.20	4 395.97	N. E.	2.30
T-2	326 580.40	8 827 237.03	4 393.76	N. E.	2.40
T-3	326 554.88	8 827 262.43	4 389.79	N. E.	2.10
T-4	326 524.58	8 827 272.68	4 384.09	N. E.	1.90
T-5	326 492.56	8 827 285.35	4 384.09	N. E.	1.40
T-6	326 463.52	8 827 297.07	4 372.26	N. E.	1.70
T-7	326 437.90	8 827 308.28	4 368.61	N. E.	1.40
T-8	326 554.40	8 827 222.90	4 387.23	2.50	2.70

Nota. Obtenido de (CSOCH, 2019d).

1.3.3 Ensayos de campo

Se realizaron los siguientes ensayos de campo con la finalidad de conocer las propiedades del suelo del área de estudio. Se detalla a continuación.

1.3.3.1 Ensayo de densidad in situ.

El ensayo tiene como objetivo determinar “in situ” la densidad del suelo y se realizó utilizando el método de cono de arena. El resultado de la densidad in situ se muestra en el sub anexo. El resultado de la densidad ejecutada se muestra en la siguiente Tabla 15.

Tabla 15

Ubicación de ensayos de densidad en DME 15

Densidad / Ubicación	Este (m)	Norte (m)	Material	Prof. (m)	Densidad Húmeda (g/cm ³)	Densidad Seca (g/cm ³)
D-1 / T-3	326 580.40	8 827 237.03	Suelo residual	1.20	1.627	1.334

Nota. Obtenido de (CSOCH, 2019d).

1.3.3.2 Ensayo de permeabilidad in situ.

Este ensayo se realizó in situ en el área del proyecto con la finalidad de conocer la conductividad hidráulica expresada en cm/s del suelo de fundación y del material del desmonte. Se realizaron ensayos de permeabilidad en el área del proyecto DME 15 (km 183+450) y en sobre el material del desmonte en el depósito DME 13 (km 175+740). El resultado de la permeabilidad in situ se muestra en el sub anexo. Los resultados de los ensayos de permeabilidad in situ del suelo ejecutado se muestra en la siguiente Tabla 16.

Tabla 16

Ubicación de ensayos de permeabilidad en DME 15

Ubicación	Ubicación	Material	Profundidad (m)	Coefficiente de Permeabilidad k (cm/s)
P-1	T-3 / DME 15	Suelo residual	2.10	2.9E-4

Nota. Obtenido de (CSOCH, 2019d).

1.3.3.3 Ensayos geofísicos.

Se realizaron los siguientes ensayos geofísicos.

1.3.3.3.1 Refracción sísmica.

Este ensayo consiste en medir el tiempo de propagación de las ondas elásticas transcurridas desde un sitio donde se han generado estas ondas sísmicas y la llegada de éstas a un sensor ubicado en un diferente punto de

observación. Se realizaron 454 m líneas de refracción sísmica. Véase la siguiente Tabla 17. Los resultados del reporte geofísico se muestran en el sub anexo.

Tabla 17

Ubicación de ensayos de refracción sísmica en DME 15

Código	Punto Inicio		Punto Final		Longitud (m)
	Este (m)	Norte (m)	Este (m)	Norte (m)	
RF-05	326 409.86	8 827 227.62	326 609.72	8 827 130.61	223
RF-06	326 464.54	8 827 112.44	326 537.43	8 827 331.39	231

Nota. Obtenido de (CSOCH, 2019d).

1.3.3.3.2 Ensayo MASW o análisis de ondas superficiales en arreglo multicanal.

Es un método de exploración geofísica que permite determinar la estratigrafía del subsuelo bajo un punto en forma indirecta, basándose en el cambio de las propiedades dinámicas de los materiales que la conforman. Este método consiste en la interpretación de las ondas superficiales (Ondas Rayleigh) de un registro en arreglo multicanal, generadas por una fuente de energía impulsiva en puntos localizados a distancias predeterminadas a lo largo de un eje sobre la superficie del terreno, obteniéndose el perfil de velocidades de ondas de corte (V_s) para el punto central de dicha línea. Se realizaron 05 ensayos MASW. Véase la siguiente Tabla 18. Los resultados del reporte geofísico se muestran en el sub anexo.

Tabla 18

Ubicación de ensayos MASW en DME 15

Código	Coordenadas		
	Este (m)	Norte (m)	Cota (m s.n.m.)
MASW-09	326 507.22	8 827 180.33	4 382.70
MASW-10	326 515.41	8 827 265.00	4 382.30
MASW-11	326 465.39	8 827 114.97	4 385.31
MASW-12	326 418.58	8 827 223.00	4 369.22
MASW-13	326 526.46	8 827 298.21	4 388.14

Nota. Obtenido de (CSOCH, 2019d).

1.3.4 Ensayos de laboratorio

Para las muestras alteradas representativas obtenidas durante la investigación geotécnica se propuso un programa que incluyó ensayos de laboratorio de suelos para la determinación de propiedades índice, clasificación y

ensayos especiales de suelos. Estos ensayos se efectuaron con la finalidad de caracterizar el material de fundación. Los ensayos especiales fueron los ensayos de resistencia mecánica y se realizaron en muestras alteradas. Los resultados de los ensayos de laboratorio se muestran en el sub anexo.

A partir de las muestras de suelo extraídas de las calicatas, se efectuaron los siguientes ensayos de laboratorio:

- Análisis Granulométrico (ASTM D6913/D6913M)
- Límites de Atterberg (ASTM D4318- 98)
- Humedad Natural (ASTM D2216 – Método A)
- Clasificación SUCS (ASTM D2487)
- Ensayo de Corte Directo (ASTM D 3080).

Los resultados de los ensayos de laboratorio en suelos se muestran en la Tabla 19, Tabla 20, Tabla 21 y Tabla 22.

Tabla 19

Resumen de ensayos de granulometría

Muestra	Material	Profundidad (m)	W (%)	Análisis Granulométrico		
				Gravas (%)	Arenas (%)	Finos (%)
M-1 / C-3	Suelo residual	1.50 - 4.30	25	2	69	28
M-1 / T-3	Suelo residual	2.40	22	2	55	42

Nota. Obtenido de (CSOCH, 2019d).

Tabla 20

Resumen de ensayos de límites de atterberg

Muestra	Material	Profundidad (m)	Límites de Atterberg		
			LL (%)	LP (%)	IP (%)
M-1 / C-3	Suelo residual	1.50 - 4.30	24	21	3
M-1 / T-3	Suelo residual	2.40	30	26	4

Nota. Obtenido de (CSOCH, 2019d).

Tabla 21

Resumen de clasificación SUCS

Muestra	Material	Profundidad (m)	SUCS
M-1 / C-3	Suelo residual	1.50 - 4.30	SM
M-1 / T-3	Suelo residual	2.40	SM

Nota. Obtenido de (CSOCH, 2019d).

Tabla 22*Resumen de ensayos de corte directo*

Ubicación	SUCS	Material	Prof. (m)	Densidad húmeda (gr/cm ³)	Parámetros de resistencia	
					Cohesión c' (kg /cm ²)	Ángulo de Fricción ϕ' (°)
C-3	SM	Suelo residual	1.50 – 4.30	1.627	0.01	32.2

Nota. Obtenido de (CSOCH, 2019d).

Como parte del programa de investigaciones geotécnicas, se realizaron ensayos especiales para caracterizar las rocas extraídas del afloramiento rocoso, se efectuaron los siguientes ensayos de laboratorio:

- Propiedades físicas (ASTM C97-02)
- Ensayo de compresión triaxial (ASTM D 7012-14)

Los resultados de los ensayos en rocas se muestran en las siguientes Tabla 23 y Tabla 24.

Tabla 23*Resumen de propiedades física de las muestras de roca*

Ubicación	Tipo	Tipo de Roca	Propiedades Físicas				Peso Específico Aparente (kN/m ³)
			Densidad Seca (gr/cm ³)	Densidad Húmeda (gr/cm ³)	Porosidad Aparente (%)	Absorción (%)	
E: 326 635 N: 8 827 010	Bloque	Andesita	2.40	2.44	9.33	3.91	23.57

Nota. Obtenido de (CSOCH, 2019d).

Tabla 24*Resumen del ensayo triaxial en muestras de roca*

Ubicación	Tipo	Tipo de Roca	Compresión Triaxial			
			Resistencia a la Compresión Uniaxial (MPa)	Constante "mi"	Cohesión (MPa)	Ángulo de Fricción Interno ϕ' (°)
E: 326 635 N: 8 827 010	Bloque	Andesita	2.40	29.5	8.4	53.2

Nota. Obtenido de (CSOCH, 2019d).

Así mismo, como se realizaron ensayos especiales para caracterizar el material de desmonte en muestras obtenidas en el botadero DME 13 (km 175+740). Se efectuaron los siguientes ensayos de laboratorio:

- Proctor modificado (ASTM D1557)
- Análisis granulométrico (ASTM D6913-04),
- Límites de atterberg (ASTM D4318).
- Humedad natural (ASTM D2216).
- Ensayos triaxial CU (ASTM D4767).

Los resultados de los ensayos en desmante se muestran en la siguientes Tabla 25 y Tabla 26.

Tabla 25

Resumen de los ensayos de proctor modificado en desmante

Ubicación	Muestra	Humedad (%)	Clasificación SUCS	Proctor modificado	
				Máxima densidad seca (gr/cm ³)	Óptimo Contenido de Humedad (%)
Desmante DME 13 (175+740)	M1	9.5	GC	2.131	8.1
	M2	9.7	GC	2.096	9.0
	M3	9.2	GC	2.126	8.2

Nota. Obtenido de (CSOCH, 2019d).

Tabla 26

Resumen de los ensayos de triaxiales en desmante

Ubicación	Muestra	Triaxial Consolidado no Drenado CU					
		Densidad (gr/cm ³)	Humedad (%)	Totales		Efectivos	
				C (kPa)	Φ (°)	C' (kPa)	Φ' (°)
Desmante DME 13 (175+740)	M1	1.669	8.8	14	21.0	18	39.0
	M2	1.617	10.4	0	21.0	18	32.0
	M3	1.684	8.7	9	20.5	22	37.5

Nota. Obtenido de (CSOCH, 2019d).

1.3.5 Perfil estratigráfico

A continuación, se presenta una descripción del perfil de suelo promedio y representativo obtenido de los resultados de las exploraciones de campo y de los ensayos de laboratorio. De 0.0 – 2.50 m el material está compuesto por material antrópico y topsoil (UG I y UG II), con un espesor promedio de 1.30 m; de 2.50 m a 4.40 m es suelo residual compuesto por arena limosa (UG VI) SM según la clasificación SUCS, de plasticidad media, medianamente densa, húmeda, marrón; el suelo es estable al momento de la excavación, su composición está formada por gravas (2%), arenas (55 - 69%) y finos (28-42%),

presenta limite liquido entre 24 a 30 e índice de plasticidad entre 3 a 4. Posteriormente, de acuerdo con el estudio geofísico la roca andesita se encuentra a 8 m aproximadamente (UG VIII).

1.3.6 Nivel de agua

Se detectó la presencia de nivel de agua a 2.50 m de profundidad en algunas zonas. Se obtuvo también en otros sectores niveles de agua a una profundidad de 4.20 m (Véase la Tabla 27). Durante la ejecución de las investigaciones geotécnicas, se tomaron registro de afloramientos de agua presente en el área de estudio y son mostrados en la siguiente Tabla 28.

Tabla 27

Ubicación de nivel freático

Ubicación	Este (m)	Norte (m)	Cota (m s.n.m.)	Nivel Freático (m)
C-1	326 449.13	8 827 233.76	4 375.19	3.20
C-2	326 485.63	8 827 166.03	4 383.98	4.20
C-3	326 521.33	8 827 250.57	4 382.59	3.10
T-8	326 554.40	8 827 222.90	4 387.23	2.50

Nota. Obtenido de (CSOCH, 2019d).

Tabla 28

Ubicación de afloramientos de agua

Puntos	Este (m)	Norte (m)	Cota (m s.n.m.)
1	326 462.61	8 827 345.71	4 370.39
2	326 380.34	8 827 286.05	4 368.53
3	326 472.35	8 827 348.28	4 370.68
4	326 451.85	8 827 191.71	4 377.84
5	326 581.78	8 827 346.41	4 396.09

Nota. Obtenido de (CSOCH, 2019d).

1.4 Caracterización Geotécnica

La caracterización geotécnica ha sido determinada en base a la información disponible de mapeo geológico, los ensayos de campo, los ensayos de laboratorio y bibliografía relacionada. A continuación, se detalla el análisis realizado.

1.4.1 Unidad geotécnica I: material antrópico

Se evidenció material de desmonte esparcido en el área del DME 15 y es un material producto de la actividad humana, generado por corte y relleno de la construcción de la carretera Oyón Ambo.

Este material está constituido principalmente por suelos muy blandos tipo arcillas y arenas limosas, húmedo. Se ha empleado principalmente la información de los registros de excavación de calicatas y trincheras del sub anexo para estimar el espesor de material antrópico de hasta 2.50 m, en promedio 1.30 m. Véase la Tabla 29 y véase el plano DME-15-GG-001 del anexo 3. Asimismo, se debe retirar el material antrópico de la fundación del DME a fin de cimentar la estructura en material competente. Además, se considera material antrópico también al que conforma la subrasante, subbase, base y carpeta asfáltica de la carretera Oyón Ambo.

Tabla 29

Resumen de espesores del material antrópico en fundación del DME

Calicata / Trinchera	Espesor (m)	Profundidad (m)	
C-2	1.00	0	1.00
C-3	2.50	0	2.50
C-4	1.10	0	1.10
T-1	1.00	0	1.00
T-4	0.90	0	0.90
T-6	0.20	0	0.20
T-7	1.40	0	1.40
T-8	1.70	0	1.70

Nota. Obtenido de (CSOCH, 2019d).

Finalmente, para el material antrópico se ha considerado emplear de manera conservadora y en base a la bibliografía una densidad de 16 kN/m^3 , y como parámetros de resistencia efectivos una cohesión de 0 kN/m^2 y un ángulo de fricción de 16° .

1.4.2 Unidad geotécnica II: topsoil

Es un material de naturaleza orgánica hallada superficialmente o debajo del material antrópico. Se ha empleado principalmente la información de los registros de excavación de calicatas y trincheras del sub anexo para estimar un espesor del topsoil de hasta 0.90 m, en promedio 0.55 m. Véase la Tabla 30 y véase el plano DME-15-GG-001 del anexo 3. Asimismo, se debe retirar el material de topsoil de la fundación del Botadero a fin de cimentar la estructura en

material competente, y deberá ser adecuadamente almacenado a fin de emplearla en actividades de remediación, es decir, en el cierre del DME.

Tabla 30

Resumen de espesores de topsoil

Calicata / Trinchera	Espesor (m)	Profundidad (m)	
		De	a
C-2	0.30	1.00	1.30
C-4	0.40	1.10	1.50
T-1	0.70	1.00	1.70
T-2	0.50	0.00	0.50
T-3	0.60	0.00	0.60
T-4	0.90	1.00	1.90
T-5	0.40	0.00	0.40
T-6	0.30	0.20	0.50

Nota. Obtenido de (CSOCH, 2019d).

Finalmente, para el material de topsoil se ha considerado emplear de manera conservadora y en base a la bibliografía una densidad de 15 kN/m^3 , y como parámetros de resistencia efectivos una cohesión de 5 kN/m^2 y ángulo de fricción de 16° .

1.4.3 Unidad geotécnica IIIa: bofedal con agua permanente

Este suelo es permanente en la zona, se observa en la parte baja de la carretera en las depresiones con zonas anegadas. Corresponde a arenas limosas con arcillas y materia vegetal formando zonas pantanosas que en época de lluvia es susceptible a remoción. De densidad suelta a medianamente densa. Véase la Tabla 31 y el plano DME-15-GG-001 del anexo 3.

Tabla 31

Resumen de investigaciones en zona de bofedal permanente

Calicata / Trinchera	Espesor (m)	Profundidad (m)	
		De	a
C-1	0.30	1.00	1.30
T-7	0.70	1.00	1.70

Nota: Obtenido de (CSOCH, 2019d).

Finalmente, para el material de bofedal de agua permanente se ha considerado emplear de manera conservadora y en base a la bibliografía una densidad de 17 kN/m^3 , y como parámetros de resistencia efectivos una cohesión de 5 kN/m^2 y ángulo de fricción de 20° .

1.4.4 Unidad geotécnica IIIb: bofedal temporal

Este material se observa de manera temporal en la zona en un área pequeña, ubicado en la parte derecha de la zona del DME. Véase la Tabla 30 y véase el plano DME-15-GG-001 del anexo 3.

Finalmente, para el bofedal temporal se ha considerado emplear de manera conservadora y en base a la bibliografía una densidad de 17 kN/m^3 , y como parámetros de resistencia efectivos una cohesión de 5 kN/m^2 y ángulo de fricción de 20° .

1.4.5 Unidad geotécnica IV: suelo fluvioglacial

Se refiere al material acarreado por el medio fluvial (agua) y glaciar (hielo), que se deposita en forma de planicies con rasgos de erosión fluvial derivados del deshielo, y que está vinculado con el proceso de erosión provocado por el levantamiento andino y las distintas fases de glaciación. Están formados por gravas, arenas y limos mal distribuidos en horizontes con intercalaciones de arena mal escogida de color gris claro de densidad media. Presentan bloques y bolones con fragmentos de forma subangular a subredondeados, grava gruesa, algo consolidada. Los fragmentos son de composición andesita en matriz de limo arcilloso y están revestidos por material residual y pastizales naturales. Se puede apreciar en el lado derecho del área del depósito (CSOCH, 2019d). Véase la Tabla 32 y véase el plano DME-15-GG-001 del anexo 3.

En el año 2020, la empresa Golder realizó la caracterización geotécnica de la fundación de un depósito de relaves ubicado también en Pasco a 34 km del DME 15. En esta fundación se observó un estrato de material fluvioglacial, al cual se le realizó ensayos de campo y laboratorio para determinar sus parámetros de resistencia efectivos. Estos resultados nos sirven como referencia para esta unidad geotécnica de suelo fluvioglacial. Véase la siguiente Tabla 33.

Tabla 32*Parámetros de resistencia del suelo fluvioglacial*

Material	Peso Unitario (kN/m ³)	Parámetros de resistencia	
		Cohesión c' (kN/m ²)	Ángulo de Fricción ϕ' (°)
Suelo Fluvioglacial Reciente	19	0	32

Nota. Obtenido de (Golder, 2020).

Finalmente, para el suelo fluvioglacial se ha considerado emplear de manera conservadora y en base a la bibliografía una densidad de 18 kN/m³, y como parámetros de resistencia efectivos una cohesión de 0 kN/m² y ángulo de fricción de 30°.

1.4.6 Unidad geotécnica V: suelo aluvial

Este suelo se encuentra en la parte baja del área del depósito. Los suelos aluviales representan depósitos no consolidados. Están formados por los materiales arrastrados por los ríos y depositados durante su travesía, creando los lechos, terrazas que se han originado a ambos costados de la quebrada Huachos, las cuales señalan las variaciones en el flujo y la migración lateral, así como llanuras de inundación de espesores variados (CSOCH, 2019d).

Son suelos friccionantes conformado por gravas arcillosas con cantos y bolones en porcentajes de 10%, son muy anisotrópicos en su distribución, asimismo, los fragmentos son rocas de andesita, de color gris morado, de formas subangulosos a subredondeados de compacidad baja a media. La resistencia de estos materiales es baja. Véase el plano DME-15-GG-001 del anexo 3.

De la trinchera T-6 se ha observado el suelo aluvial a partir de los 0.6 m, de color pardo amarillento claro, ligeramente húmedo. Véase la Tabla 33.

Tabla 33*Resumen de investigaciones en depósito aluvial*

Calicata / Trinchera	Espesor (m)	Profundidad (m)	
		De	a
T-6	var.	0.60	-

Nota. Obtenido de (CSOCH, 2019d).

Asimismo, en el año 2020 el CSOCH realizó la caracterización geotécnica para seis (06) nuevos depósitos de material excedente (DME) denominados DME 31 (km 231+440), DME 32 (259+960), DME 33 (242+860), DME 34 (259+520), DME 35 (259+960) y DME 36 (260+320), y ubicados entre 48 a 77 km de distancia respectivamente del DME 15 (183+450). En dicha campaña de campo se evidenció un estrato de depósito aluvial reciente (Q-al), al cual se le realizó ensayos de laboratorio para determinar sus parámetros de resistencia al corte. Estos resultados nos sirven como referencia para esta unidad geotécnica de depósito aluvial. Véase la siguiente Tabla 34.

Tabla 34

Parámetros de resistencia del depósito aluvial reciente del DME 31 al DME 36

DME	Material	Peso Unitario (kN/m ³)	Parámetros de resistencia	
			Cohesión c' (kN/m ²)	Ángulo de Fricción ϕ' (°)
31	Depósito Aluvial Reciente	21	5	42.5
32	Depósito Aluvial Reciente	23	10	39.5
34	Depósito Aluvial Reciente	22	5	42.5
36	Depósito Aluvial Reciente	22	5	42.5

Nota. Obtenido de (CSOCH, 2021a).

Además, en el año 2021 el CSOCH realizó la caracterización geotécnica para dos (02) nuevos depósitos de material excedente (DME) denominados DME 16C (km 187+770) y DME 20 (192+580), ubicados entre 4 a 9 km de distancia de la zona de estudio DME 15 (183+450). En dicha campaña de campo se evidenció un estrato de depósito aluvial (Q-al), al cual se le realizó ensayos de campo DPL para determinar sus parámetros de resistencia al corte. Estos resultados sirven como referencia para esta unidad geotécnica de depósito aluvial. Véase la siguiente Tabla 35.

Tabla 35

Parámetros de resistencia del depósito aluvial del DME 16C

DME	Material	Peso Unitario (kN/m ³)	Parámetros de resistencia	
			Cohesión c' (kN/m ²)	Ángulo de Fricción ϕ' (°)
16C	Depósito Aluvial	17.7	0	32

Nota. Obtenido de (CSOCH, 2021b).

Dada la cercanía de 4 km del DME 16C se ha tomado como referencia los parámetros de resistencia obtenidos por el CSOCH (2021b).

Finalmente, para el depósito aluvial se ha considerado emplear de manera conservadora y en base a la bibliografía una densidad de 17 kN/m^3 , y como parámetros de resistencia efectivos una cohesión de 0 kN/m^2 y ángulo de fricción de 32° .

1.4.7 Unidad geotécnica VI: suelo residual

Los suelos residuales son los que se forman en el sitio por procesos de meteorización física y química (movimiento del agua intersticial) y se desarrollan principalmente, por el clima, la lluvia, los regímenes de temperatura, la litología del material de roca (saprolito) están compuestos por arenas, limos y arcillas, esporádicamente presentan gravas. Estos se encuentran poco consolidados, cubriendo los afloramientos rocosos con una capa generalmente delgada, o puede llegar desde unos pocos metros de espesor a profundidades no determinadas. Desde el punto de vista geotécnico este tipo de depósito presentan una estabilidad moderada a buena, sobre todo cuando son generados de rocas volcánicas; sin embargo, al ser saturados por agua son los más sensibles a la ocurrencia de deslizamientos superficiales. Se observa a lo largo de toda la zona del depósito. Véase el plano DME-15-GG-001 del anexo 3.

En la fundación de la zona del depósito, el suelo residual aparece superficialmente o a los 2.50 m (es variable en cada sector, véase la Tabla 36) y está conformado por arena limosa, SM según la clasificación SUCS, de plasticidad baja a media con LL entre 24 a 30 e IP entre 3 a 4, medianamente densa a suelta, húmeda entre 22% a 25%, color verde grisáceo, de naturaleza heterogénea con una distribución gravas de 2%, arenas entre 55% a 69% y finos entre 28% a 42% (Véase la Tabla 37). En base a los datos de la geofísica, el contacto de suelo-roca está a una profundidad de 8.00 m. aproximadamente. Se realizó un ensayo de densidad in situ obteniéndose un resultado de 1.627 g/cm^3 y una densidad seca de 1.334 g/cm^3 . Véase las Tabla 36, Tabla 37 y Tabla 38.

Tabla 36*Resumen de investigaciones en depósito residual del DME 15*

Calicata / Trinchera	Espesor (m)	Profundidad (m)	
		De	a
C-1	var.	0	-
C-2	var.	1.30	-
C-3	var.	2.50	-
C-4	var.	1.50	-
T-1	var.	1.70	-
T-2	var.	0.50	-
T-3	var.	0.60	-
T-5	var.	0.40	-
T-8	var.	1.70	-

Nota. Obtenido de (CSOCH, 2019d).**Tabla 37***Resumen de clasificación SUCS del Suelo Residual del DME 15*

Muestra	SUCS	W (%)	Análisis Granulométrico			Límites de Atterberg		
			Gravas	Arenas	Finos	LL	LP	IP
			(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)
M-1 / C-3	SM	25	2	69	28	24	21	3
M-1 / T-3	SM	22	2	55	42	30	26	4

Nota. Obtenido de (CSOCH, 2019d).**Tabla 38***Resumen de densidad in situ del Suelo Residual del DME 15*

Densidad / Ubicación	Profundidad (m)	Densidad Húmeda (g/cm ³)	Densidad Seca (g/cm ³)
D-1 / T-3	1.20	1.627	1.334

Nota. Obtenido de (CSOCH, 2019d).

Así mismo, se realizaron ensayos de permeabilidad in situ empleando el método de carga variable (Lambe - Whitman, 1960) obteniéndose una conductividad hidráulica de 2.9×10^{-4} cm/s (permeabilidad media). El suelo tiene un comportamiento principalmente drenante. Véase la Tabla 39.

Tabla 39*Resumen de Permeabilidad in Situ del Suelo Residual del DME 15*

Densidad / Ubicación	Profundidad (m)	Coefficiente de Permeabilidad k (cm/s)
P-1 / T-3	2.10	2.9E-4

Nota. Obtenido de (CSOCH, 2019d).

Fueron seleccionadas muestras de suelo alteradas y se realizó un ensayo de corte directo de acuerdo con la norma ASTM D 3080. La muestra fue

remoldeado empleando la densidad y humedad natural del suelo. Se obtuvo una cohesión de 0.01 kg/cm² y ángulo de fricción de 32.2°. Véase la Tabla 40.

Tabla 40

Resumen del ensayo de corte directo del Suelo Residual del DME 15

Ubicación	Profundidad (m)	Densidad Húmeda (g/cm ³)	Parámetros de resistencia	
			Cohesión c' (kg /cm ²)	Ángulo de Fricción ϕ' (°)
C-3	1.50 – 4.30	1.627	0.01	32.2

Nota: Obtenido de (CSOCH, 2019d).

Además, en el año 2021 el CSOCH realizó la caracterización geotécnica para dos (02) nuevos depósitos de material excedente (DME) denominados DME 16C (km 187+770) y DME 20 (192+580), ubicados entre 4 a 9 km de distancia de la zona de estudio DME 15 (183+450). En dicha campaña de campo se evidenció un estrato de depósito residual (Q-re), al cual se le realizó ensayos de laboratorio y se empleó el método de curvas homotéticas para escalar el material y así determinar sus parámetros de resistencia al corte. Estos resultados sirven como referencia para esta unidad geotécnica de depósito residual. Véase la siguiente Tabla 41.

Tabla 41

Parámetros de resistencia del depósito residual del DME 20

DME	Material	Peso Unitario (kN/m ³)	Parámetros de resistencia	
			Cohesión c' (kN/m ²)	Ángulo de Fricción ϕ' (°)
20	Depósito Residual	19.6	22.5	29.7

Nota. Obtenido de (CSOCH, 2019b).

Finalmente, se ha tomado como prioridad los ensayos realizados en el área del DME 15, por tanto, para el suelo residual se ha considerado una densidad de 16.3 kN/m³, y como parámetros de resistencia efectivos una cohesión de 0 kN/m² y ángulo de fricción de 32.2°.

1.4.8 Unidad geotécnica VII: suelo coluvial

Los suelos coluviales son acumulaciones de depósitos sueltos compuestos por detritos de rocas de basamento. Están compuestos por una mezcla heterogénea de cantos angulosos de rocas calizas en una matriz limo

arcillosa, no presentan estratificación. Los depósitos se observan en el pie de montes inclinados a ambos flancos de la quebrada Huachos y se observa en la parte superior derecha de la zona del depósito. Véase el plano DME-15-GG-001 del anexo 3.

Durante el mismo año 2019 el Consorcio Vial Ambo (CVA) realizó la caracterización geotécnica del depósito coluvial que conformaba la fundación del DME 03 (152+900), ubicado a 30 km de distancia de la zona de estudio DME 15 (183+450). En dicha campaña se realizó ensayos de campo y laboratorio. Estos ensayos se realizaron con la finalidad de determinar sus parámetros de resistencia al corte. Estos resultados nos sirven como referencia para esta unidad geotécnica de depósito coluvial. Véase la siguiente Tabla 42.

Tabla 42

Parámetros de resistencia del depósito coluvial del DME 03

DME	Material	Densidad húmeda (kN/m ³)	Efectivos	
			Cohesión c' (kN/m ²)	Ángulo de Fricción ϕ' (°)
03	Suelo Coluvial	18.0	0	32

Nota. Obtenido de (Gaviria y Suárez, 2019).

Asimismo, en el año 2020 el CSOCH realizó la caracterización geotécnica para seis (06) nuevos depósitos de material excedente (DME) denominados DME 31 (km 231+440), DME 32 (259+960), DME 33 (242+860), DME 34 (259+520), DME 35 (259+960) y DME 36 (260+320), y ubicados entre 48 a 77 km de distancia de la zona de estudio DME 15 (183+450). En dicha campaña de campo se evidenció un estrato de depósito deluvial - coluvial (Q-de/co), al cual se le realizó ensayos de laboratorio para determinar sus parámetros de resistencia al corte. Estos resultados nos sirven como referencia para esta unidad geotécnica de depósito coluvial. Véase la siguiente Tabla 43.

Tabla 43

Parámetros de resistencia del depósito deluvial - coluvial del DME 31 al DME 36

DME	Material	Peso Unitario (kN/m ³)	Parámetros de resistencia	
			Cohesión c' (kN/m ²)	Ángulo de Fricción ϕ' (°)
31	Suelo Deluvial - Coluvial	18	20	36
32	Suelo Deluvial - Coluvial	18	20	36
34	Suelo Coluvial	18	10	38

Nota. Obtenido de (CSOCH, 2021a).

Además, en el año 2021 el CSOCH realizó la caracterización geotécnica para dos (02) nuevos depósitos de material excedente (DME) denominados DME 16C (km 187+770) y DME 20 (192+580), ubicados entre 4 a 9 km de distancia de la zona de estudio DME 15 (183+450). En dicha campaña de campo se evidenció un estrato de depósito coluvial reciente (Q-co), al cual se le realizó ensayos de laboratorio para determinar sus parámetros de resistencia al corte. Estos resultados nos sirven como referencia para esta unidad geotécnica de depósito coluvial. Véase la siguiente Tabla 44.

Tabla 44

Parámetros de resistencia del depósito coluvial del DME 16C

DME	Material	Peso Unitario (kN/m ³)	Parámetros de resistencia	
			Cohesión c' (kN/m ²)	Ángulo de Fricción ϕ' (°)
16C	Suelo Coluvial Reciente	18.3	29.0	24.5
20	Suelo Coluvial Reciente	19.6	22.5	29.7

Nota. Obtenido de (CSOCH, 2021b).

Finalmente, dada la cercanía de 4 km del DME 16C se han tomado como referencia los parámetros de resistencia obtenidos por el CSOCH (2021b). Por tanto, para el depósito coluvial se ha considerado de manera conservadora emplear una densidad de 18 kN/m³, y como parámetros de resistencia efectivos una cohesión de 10 kN/m² y ángulo de fricción de 24°.

1.4.9 Unidad geotécnica VIII y IX: roca andesita

Se realizó el estudio geológico del área del proyecto, el cual consistió en un mapeo geológico detallado y dos (02) estaciones geomecánicas (GEO-MEC-01 y GEO-MECA-02) en afloramientos rocosos con la finalidad de caracterizar el macizo rocoso. Esta caracterización tiene como objetivo definir la calidad del macizo rocoso en función al índice RMR 89 (Rock Mass Rating). Este índice se calcula teniendo en cuenta la resistencia de la matriz rocosa, el índice RQD, condición de las discontinuidades y parámetros hidrogeológicos. Véase la Tabla 45.

Tabla 45*Clasificación geomecánica del macizo rocoso*

Ubicación	VALORIZACIÓN											Litología	Calidad	Clase
	Resistencia	RQD	Separación	Longitud	Abertura	Rugosidad	Relleno	Alteración	Agua	RMR	Corrección			
DME 15	12	13	15	5	1	3	6	3	15	73	72	Andesita	Buena	II

Nota. Obtenido de (CSOCH, 2019d).

La roca de fundación o basamento rocoso está conformada por roca ígnea volcánica de tipo Andesita hallado durante el mapeo geológico geomecánico realizado en el área donde se proyecta el DME 15 presenta las siguientes características: grano fino a medio, marrón rojizo, resistencia media a baja, altamente meteorizado. Véase la Tabla 46.

Tabla 46*Resumen de propiedades de la roca intacta*

Propiedad	Unidad	Valor
Densidad seca	gr/cm ³	2.40
Densidad húmeda	gr/cm ³	2.44
Peso específico aparente	kN/m ³	23.6
Absorción	%	3.91
Porosidad aparente	%	9.33
Resistencia a la compresión uniaxial (UCS)	Mpa	43.5
Constante "mi"	-	29.5
Cohesión C	Mpa	8.4
Fricción	°	53.2

Nota. Obtenido de (CSOCH, 2019d).

Según la geofísica, el área proyectada del DME 15 presenta desde la profundidad de 8.00 m a 13.00 m una roca andesita fracturada a muy fracturada (UG VIII), y a partir de los 13.00 m en adelante roca andesita maciza (UG IX). Asimismo, en base a las propiedades índice de la roca intacta y al RMR 89 se han obtenido mediante el software Roclab de Rocscience los parámetros de Hoek and Brown de ambos tipos de calidad del macizo rocoso encontrados en el área del depósito (Véase el anexo 3). En la Tabla 47 resume los resultados obtenidos.

Tabla 47*Parámetros del macizo rocoso de la Roca Andesita*

Parámetros	Unidad Geotécnica VIII: Roca Andesita Fracturada	Unidad Geotécnica IX: Roca Andesita Maciza
Clasificación de Hoek Brown		
Resistencia a la compresión uniaxial (UCS)	44	44
GSI (Geological Strength Index)	25	67
Factor de disturbancia, D	0.7	0.7
Criterio de Hoek Brown		
mb	0.487	4.894
s	1.9E-05	8.4E-03
a	0.531	0.502
Parámetro de Mohr-Coulomb (aproximado)		
C (Mpa)	0.236	0.695
ϕ (°)	38.53	58.17

Nota. Obtenido de (CSOCH, 2019d).

Finalmente, para la Roca Andesita Fracturada se ha considerado emplear una densidad de 23.6 kN/m³, y como parámetros de resistencia efectivos un ángulo de fricción de 58° y una cohesión de 700 kN/m²; y para la Roca Andesita Maciza se ha considerado emplear una densidad de 23.6 kN/m³, y como parámetros de resistencia efectivos un ángulo de fricción de 38° y una cohesión de 230 kN/m².

1.4.10 Unidad geotécnica X: desmonte

De acuerdo con el consorcio Cesel - Sigt (2015a), los DME 13 (175+740), DME 14 (180+840), DME 15 (183+450), DME 16 (186+770A) y DME 17 (186+770B) recibirán el material excedente (anteriormente llamado desmonte) que se genere entre los kilómetros 175 al 185 de la carretera Oyon Ambo. En estos kilómetros se observa localmente las siguientes unidades litoestratigráficas:

- Depósito Coluvial (Qp-co)
- Depósito Bofedal (Qp-bo)
- Caliza (Cz)
- Tobas (Tb)
- Depósito Morrénico (Qp-mo)
- Aglomerado (Agl)
- Andesita (And)
- Arenisca (Ar)

Asimismo, de acuerdo con las especificaciones técnicas del estudio definitivo de la carretera Oyón Ambo elaborado por Cesel – Sigt (2015), el método de excavación de estas unidades litoestratigráficas se definirá según el tipo de material, como se resume en la siguiente Tabla 48.

Tabla 48

Método de excavación según el material excavado de la carretera Oyón Ambo

Partida	Descripción	Tipo de Material Excavado	Método de Excavación
205.A	Excavación en explanaciones en material común	Suelos granulares, arcillosos	Excavación directa con maquinaria
205.B	Excavación en explanaciones en roca suelta	Roca fracturada, regular a muy mala, esquistos, arenisca	Excavación mecánica con asistencia en roca suelta, voladura puntual o no necesario
205.C	Excavación en explanaciones en roca fija	Roca buena, masiva, compacta (típicamente RMR ≥ 60)	Voladura controlada o martillos hidráulicos + excavación posterior
206.A	Remoción de derrumbes	Material mixto, inestable	Limpieza manual y mecánica en zona inestable

Nota. Basado en el expediente definitivo de (Cesel – Sigt, 2015).

1. El RMR ≥ 60 para considerar voladura es una guía de campo (Bieniawski, 1989), no una norma rígida. Por ejemplo, una roca con RMR de 55 puede necesitar voladura si tiene alta resistencia uniaxial o una roca con RMR 65 muy fracturada puede excavar con martillos hidráulicos.

De estas actividades de excavación se puede generar material excedente que es transportado al depósito de material excedente (DME). Asimismo, de acuerdo con las Especificaciones Técnicas del Estudio Definitivo de la Carretera Oyón Ambo elaborado por Cesel – Sigt (2015) el proceso de transporte es el siguiente:

1.4.10.1 Carga del material.

Se verifica que el material es excedente, es decir, no aprovechable en el proyecto, y se procede a cargar el material como se menciona en la siguiente Tabla 49 (Cesel – Sigt, 2015).

Tabla 49*Equipo de carguío según el material excavado de la carretera Oyon Ambo*

Partida	Tipo de Material Excavado	Equipos de Carguío
205.A	Suelos granulares, arcillosos	Cargador frontal
205.B	Roca fracturada, esquisto, arenisca	Retroexcavadora, cargador frontal
205.C	Roca masiva, compacta	Cargador frontal
206.A	Derrumbes, material mixto, inestable	Retroexcavadora, cuadrilla manual

Nota. Basado en el Expediente Definitivo de (Cesel – Sigt, 2015).

1. El material de derrumbes debe ser cargado rápido para liberar la vía.
2. La partida 700.G detalla el Transporte de Eliminación de Material a DME para distancias ≤ 1 km
3. La partida 700.H detalla el Transporte de Eliminación de Material a DME para distancias > 1 km
4. La unidad de medida es el metro cúbico kilómetro (m^3 -km), que indica que el cálculo del costo considera tanto el volumen del material como la distancia transportada.

1.4.10.2 Transporte.

El material excedente puede mezclarse, y se usan volquetes típicos de 20 m³ de capacidad, dependiendo del acceso, para transportarlo al DME (Cesel – Sigt, 2015).

1.4.10.3 Descarga y disposición en DME.

El material excedente es descargado por capas de aproximadamente 50 cm en el DME. Posteriormente, un cargador frontal distribuye el material en capas de espesor uniforme y se compacta con al menos cuatro (04) pasadas de rodillo (Cesel – Sigt, 2015).

Finalmente, con el fin de caracterizar el comportamiento geotécnico del desmonte que se va a depositar en el DME 15 (183+450), y dado que este aún es un área proyectada, se consideró evaluar el material de desmonte de un DME existente que reciba la misma fuente de material excedente. En este caso, se seleccionó el DME 13 (175+740) de la carretera Oyon Ambo y se realizaron ensayos de campo in situ y toma de muestras representativas para ensayos de laboratorio. En base a estos resultados, el material se clasifica como suelo y roca. Los suelos que predominan, son de origen residual, coluvial y deluviales, y

las rocas que predominan son de origen sedimentarias tipo caliza y volcánicas tipo andesitas.

Se realizaron 03 ensayos macro granulométrico de acuerdo con la norma ASTM C 691, para determinar la distribución granulométrica del desmonte.

El proceso de disposición de desmonte en el DME fue de acuerdo con las especificaciones del proyecto, el cual consistía en una descarga aleatoria de desmonte proveniente del excedente de las excavaciones de los frentes de trabajo, seguido del extendido del material empleando tractores sobre orugas, para luego ser compactados empleado un rodillo liso vibratorio hasta alcanzar un grado de compactación del 80% de la máxima densidad seca del material. Los resultados de estas pruebas indican que el material se trata de un granular grueso y que de acuerdo con la clasificación SUCS del material pasante la malla de 3 pulgadas el suelo es tipo GC (grava arcillosa). Véase la Tabla 50.

Tabla 50

Resumen de las macro granulometrías del Desmonte del DME 13

Muestra	SUCS	W (%)	Análisis Granulométrico					Límites de Atterberg		
			Bloques	Bolones	Gravas	Arenas	Finos	LL	LP	IP
			(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)
M-1	GC	9.5	28.1	19.3	20.5	19.8	13.6	33	18	15
M-2	GC	9.7	31.1	24.7	20.5	7.5	16.2	40	19	21
M-3	GC	9.2	28.2	26.4	14.3	11.5	19.6	36	17	19

Nota. Obtenido de (CSOCH, 2019d).

Así mismo, se realizaron 03 pruebas de permeabilidad in situ empleando el método de carga variable (Lambe y Whitman, 1960). En la Tabla 51, se muestran los resultados de las pruebas realizadas. Estos resultados indican que el material tiene un comportamiento principalmente drenante. Cabe resaltar que se obtuvieron algunos resultados que indican que el material tiene un comportamiento parcialmente no drenante. Sin embargo, para los análisis geotécnicos, dada la naturaleza antrópica del material se ha considerado un comportamiento drenante.

Tabla 51*Resumen de ensayos de permeabilidad del Desmonte del DME 13*

Ubicación	Profundidad (m)	Coefficiente de Permeabilidad k (cm/s)
P-1	Superficial	8.1E-3
P-2	Superficial	5.3E-5
P-4	Superficial	3.5E-5

Nota. Obtenido de (CSOCH, 2019d).

Asimismo, se usó el método de curvas paralelas u homotéticas para escalar el material granular grueso a fin de obtener muestras de un tamaño tal que puedan ejecutarse pruebas a escala en un laboratorio geotécnico especializado. En las muestras escaladas, se realizaron ensayos triaxiales tipo CU de 6 pulgadas de diámetro (Véase la Tabla 52), de acuerdo con la norma ASTM D4767. Cabe resaltar que son los ensayos de mayor tamaño que contamos en el país.

Tabla 52*Resumen del ensayo de corte directo usando curvas homotéticas del Desmonte del DME 13*

Ubicación	ID	Densidad Seca (gr/cm ³)	Humedad (%)	Densidad Húmeda (kN/m ³)	Totales		Efectivos	
					c' (kPa)	φ' (°)	c' (kPa)	φ' (°)
DME 13 (175+740)	M1	1.669	8.8	17.8	14.0	21.0	18.0	39.0
	M2	1.617	10.4	17.5	0.0	21.0	18.0	32.0
	M3	1.684	8.7	18.0	9.0	20.5	22.0	37.5

Nota. Obtenido de (CSOCH, 2019d).

Asimismo, en el año 2020 el CSOCH realizó la caracterización geotécnica para seis (06) nuevos depósitos de material excedente (DME) denominados DME 31 (km 231+440), DME 32 (259+960), DME 33 (242+860), DME 34 (259+520), DME 35 (259+960) y DME 36 (260+320). En dicha campaña se realizó ensayos de campo y laboratorio del material de desmonte del DME 13, la misma fuente empleada para caracterizar el material de desmonte del DME 15. Estos ensayos se realizaron con la finalidad de caracterizarlo y determinar sus parámetros de resistencia al corte. Estos resultados nos sirven como referencia para esta unidad geotécnica de desmonte. Véase la siguientes Tabla 53, Tabla 54, Tabla 55, Tabla 56, Tabla 57 y Tabla 58.

Tabla 53*Resumen de ensayo de densidad in situ del Desmonte del DME 13*

Densidad / Ubicación	Profundidad (m)	Densidad Global (g/cm ³)	Densidad Global (kN/m ³)
DS / C-1	Superficial	2.352	23.1
DS-1/B-1	Superficial	2.370	23.2
DS-2/B-1	Superficial	2.346	23.0
DS-3/B-1	Superficial	2.348	23.0

Nota. Obtenido de (CSOCH, 2021a).**Tabla 54***Resumen de ensayo de permeabilidad in situ del Desmonte del DME 13*

Permeabilidad / Ubicación	Profundidad (m)	Coefficiente de Permeabilidad k (cm/s)
PM / C-1	Superficial	5.39E-07
PM / C-2	Superficial	4.62E-07
PM-1 / B-1	Superficial	4.60E-04
PM-2 / B-1	Superficial	7.15E-06
PM-3 / B-1	Superficial	6.27E-05

Nota. Obtenido de (CSOCH, 2021a).**Tabla 55***Resumen de las macro granulometrías del Desmonte del DME 13*

Muestra	SUCS	W (%)	Análisis Granulométrico				
			Bloques (%)	Bolones (%)	Gravas (%)	Arenas (%)	Finos (%)
MA / C-1	GM	12.6	26.5	26.1	15.3	13.1	19.0
MA / C-2	GM	17.7	35.3	23.7	15.3	14.8	10.9
MA / C-3	GC	12.3	31.4	25.8	16.1	9.8	16.9
MA / C-5	GM	11.4	46.5	19.0	7.8	10.6	16.1
MA -1 / B-1	GC	5.7	57.7	15.9	8.1	8.1	10.2
MA -2 / B-1	GC	5.9	50.5	12.9	11.7	7.5	17.4
MA -3 / B-1	GC	2.9	45.3	17.0	13.5	11.4	12.8

Nota. Obtenido de (CSOCH, 2021a).**Tabla 56***Resumen de límites de atterberg y pesos específicos de sólidos del Desmonte del DME 13*

Muestra	SUCS	Peso específico de sólidos	Límites de Atterberg		
		Gs gr/cm ³	LL (%)	LP (%)	IP (%)
MA / C-1	GM	2.69	40	28	12
MA / C-2	GM	-	51	35	16
MA / C-3	GC	2.71	37	22	15
MA / C-5	GM	2.66	35	23	12
MA -1 / B-1	GC	2.64	48	30	18
MA -2 / B-1	GC	2.69	36	22	14
MA -3 / B-1	GC	2.69	39	23	16

Nota. Obtenido de (CSOCH, 2021a).

Tabla 57*Resumen de ensayo de ángulo de reposo in situ del Desmonte del DME 13*

Ángulo / Ubicación	Ángulo de reposo in situ (°)
C-2	40.7
C-3	40.6
C-4	42.0
C-5	38.4
C-6	39.3

Nota. Obtenido de (CSOCH, 2021a).**Tabla 58***Parámetros de resistencia del desmonte del DME 13*

Ubicación	Densidad seca (gr/cm ³)	W	Densidad húmeda (kN/m ³)	Totales		Efectivos	
		(%)		Cohesión c' (kN/m ²)	Cohesión c' (kN/m ²)	Cohesión c' (kN/m ²)	Ángulo de Fricción ϕ' (°)
C-1	1.850	6.6	19.3	63	13.2	38	35.8
C-3	1.793	5.0	18.5	2	20.2	26	40.4
C-5	1.944	6.0	20.2	97	16.2	27	38.6
C-1/B-1	1.969	5.9	20.4	230	15.9	56	35.5
C-2/B-1	1.960	5.9	20.4	67	23.7	25	35.2
C-3/B-1	1.977	4.5	20.3	241	11.2	39	36.6

Nota. Obtenido de (CSOCH, 2021a).

Además, en el año 2021 el CSOCH realizó la caracterización geotécnica para dos (02) nuevos depósitos de material excedente (DME) denominados DME 16C (km 187+770) y DME 20 (192+580). En dicha campaña se caracterizó el desmonte tomando muestras del DME 19, a menos de 7 km del DME 15, al cual se le realizó ensayos de campo, y para caracterizarlo y determinar sus parámetros de resistencia al corte. Estos resultados nos sirven como referencia para esta unidad geotécnica de desmonte. Véase la siguientes Tabla 59, Tabla 60, Tabla 61, Tabla 62, Tabla 63, Tabla 64.

Tabla 59*Resumen de ensayo de densidad in situ del Desmonte del DME 19*

Densidad / Ubicación	Profundidad (m)	Densidad Global (g/cm ³)	Densidad Global (kN/m ³)
DRA / C-02	0.40	2.384	23.4
DRA / C-04	0.45	2.059	20.2
DRA / C-05	0.40	2.082	20.4
DRA / C-06	0.50	2.338	22.9

Nota. Obtenido de (CSOCH, 2021b).

Tabla 60*Resumen de ensayo de permeabilidad in situ del Desmonte del DME 19*

Permeabilidad / Ubicación	Profundidad (m)	Densidad Global (g/cm ³)
PE / C-02	0.40	2.31E-07
PE / C-05	0.40	1.04E-07
PE / C-07	0.30	4.72E-07
PE / C-08	0.40	7.71E-06

Nota. Obtenido de (CSOCH, 2021b).**Tabla 61***Resumen de las macro granulometrías del Desmonte del DME 19*

Muestra	SUCS	W (%)	Análisis Granulométrico				
			Bloques (%)	Bolones (%)	Gravas (%)	Arenas (%)	Finos (%)
MA / C-01	GC	6.0	31.8	19.2	21.6	14.1	13.3
MA / C-02	GC	7.9	39.1	10.2	15.3	14.5	20.9
MA / C-03	GC	9.1	10.8	32.6	25.0	16.3	15.3
MA / C-04	GC	10.0	29.7	16.7	17.7	14.2	21.7
MA / C-05	GC	6.3	35.4	26.9	15.5	8.5	13.7

Nota. Obtenido de (CSOCH, 2021b).**Tabla 62***Resumen de límites de atterberg y Gs del Desmonte del DME 19*

Muestra	SUCS	Peso específico de sólidos	Límites de Atterberg		
		Gs gr/cm ³	LL (%)	LP (%)	IP (%)
MA / C-01	GC	2.71	29	18	11
MA / C-02	GC	2.69	31	14	17
MA / C-03	GC	2.69	33	16	17
MA / C-04	GC	2.69	33	20	13
MA / C-05	GC	2.69	33	18	15

Nota. Obtenido de (CSOCH, 2021b).**Tabla 63***Resumen de ensayo de ángulo de reposo in situ del Desmonte del DME 19*

Ángulo / Ubicación	Ángulo de reposo in situ (°)
AR / C-01	48.6
AR / C-02	47.5
AR / C-04	43.8
AR / C-05	38.7

Nota. Obtenido de (CSOCH, 2021b).

Tabla 64

Parámetros de resistencia del desmante del DME 19

DME	Ubicación	Densidad seca (gr/cm ³)	W	Densidad húmeda (kN/m ³)	Totales		Efectivos	
			(%)		Cohesión c' (kN/m ²)	Ángulo de Fricción ϕ' (°)	Cohesión c' (kN/m ²)	Ángulo de Fricción ϕ' (°)
19	C-02	2.209	7.9	23.4	137	18.5	41	39.0
	C-04	1.872	10.0	20.2	13	18.5	13	40.5
	C-05	2.096	6.3	21.8	135	16.0	0	44.5

Nota. Obtenido de (CSOCH, 2021a).

En resumen, en base a todos los ensayos de campo y laboratorio realizados en el material de desmante que tienen el mismo origen se tiene que el desmante es un material granular grueso con tamaño máximo nominal de 26". De clasificación SUCS de las partículas <3" como grava arcillosa (GC). Asimismo, en la siguiente Tabla 65 se resumen las propiedades físicas y de resistencia del desmante.

Tabla 65

Parámetros geotécnicos del desmante

Propiedad Geotécnica	Unidad	Rango		
		Límite Inferior	Límite Superior	Promedio
Distribución granulométrica				
Bloques	%	11	58	35
Bolones	%	10	33	21
Gravas	%	8	25	16
Arenas	%	8	20	12
Finos	%	10	22	16
Límites de Atterberg				
Límite líquido	%	29	51	37
Índice de plasticidad	%	11	21	15
Propiedades físicas				
Humedad	%	3	18	9
Gravedad específica	-	2.64	2.71	2.69
Densidad in situ ⁽¹⁾	kN/m³	20.2	23.4	22.4
Permeabilidad	cm/s	1.04E-07	8.10E-03	2.00E-04
Ángulo de reposo in situ ⁽²⁾	°	38.4	48.6	42
Propiedades de resistencia ⁽³⁾				
Cohesión (c')	kN/m²	0	41	27
Ángulo de fricción (ϕ')	°	32.0	44.5	38

Nota. Elaboración propia. Basado en la información de (Cesal – Sigt, 2015) y (CSOCH, 2019).

1. Se ha considerado los ensayos de densidad in situ con el método del reemplazo de agua en los DME 13 y DME 19, cuyo material de desmante es del mismo origen que para el DME 15.
2. Se conformaron conos de material de desmante y se midió el ángulo de reposo del material.
3. El tamaño máximo de partícula ensayado es de 1", dado la limitación del molde de los ensayos, sin embargo, el Tmáx del desmante es de hasta 26".

Finalmente, para el desmonte se ha considerado una densidad promedio de 22 kN/m³, y como parámetros de resistencia efectivos una cohesión efectiva promedio de 27 kN/m³ y un ángulo de fricción promedio de 38°.

1.4.11 Resumen de parámetros geotécnicos

En la Tabla 66 se resumen los parámetros geotécnicos de los materiales que componen la fundación, el desmonte que se apilará y otros materiales en la zona del DME 15.

Tabla 66

Resumen de parámetros geotécnicos del DME 15

Unidad Geotécnica	Material	Peso Unitario (kN/m ³)	Parámetros de resistencia	
			Cohesión c' (kN/m ²)	Ángulo de Fricción ϕ' (°)
I	Suelo Antrópico ¹	16	0	16
II	Suelo Topsoil ¹	15	5	16
IIIa	Bofedal con agua permanente ¹	17	5	20
IIIb	Bofedal temporal ¹	17	5	20
IV	Suelo Fluvioglacial ¹	18	0	30
V	Suelo Aluvial ¹	17	0	32
VI	Suelo Residual ²	16.3	0	32.2
VII	Suelo Coluvial ¹	18	10	24
VIII	Roca Andesita Fracturada ²	23.6	38	230
IX	Roca Andesita Maciza ²	23.6	58	700
X	Desmonte ²	22.4	27	38

Nota. Elaboración propia. Basado en la información de (Cesel – Sigt, 2015) y (CSOCH, 2019).

1. En base a bibliografía relacionada.

2. Sustentado en base a ensayos de campo y laboratorio.

3. La caracterización geotécnica realizada se limita a la cantidad de información disponible, se recomienda para los siguientes DMEs de la carretera Oyon Ambo desarrollar mayor cantidad de ensayos de campo como calicatas, geofísica, perforaciones, ensayos triaxiales, etc de acuerdo con el nivel de riesgo del DME.

Se adjunta sub anexo de ensayos de campo, ensayos geofísicos y ensayos de laboratorio realizados a los materiales del DME 15.

PERFIL ESTRATIGRÁFICO - SUELOS/REGISTRO DE EXCAVACIÓN DE CALICATA (ASTM - 2488)

SOLICITANTE : ING. WILLIAM SEGOVIA HERRERA
PROYECTO : DISEÑO DE LOS BOTADEROS DME 15, DME 16A y DME 19.
UBICACIÓN : DISTRITO: YANAHUANCA - PROVINCIA: DANIEL ALCIDES CARRION - REGION: PASCO

ÁREA DE PROYECTO	: DME 15 (183+450)	NIVEL FREÁTICO	: 3.20 m.
CALICATA	: C- 1	NIVEL DE FILTRACIÓN	: -
MUESTRA	: -	TÉCNICO	: J.E.F.
PROFUNDIDAD	: 3.80 m	ING. RESP.	: W.S.H.
COORDENADAS	: ESTE : 326449.13 NORTE : 8827233.76		

PANEL FOTOGRÁFICO



TAMAÑO DE CALICATA	
ANCHO	1.20 m.
LARGO	2.60 m.

OBSERVACIONES:

* El fin de la excavación se dio debido a su capacidad máxima de alcance de la maquinaria.

** se encontro nivel freatico a 3.20 m.

Prof. (m.)		Estrato	Símbolo Grafico	Descripción Visual del Suelo	Clasificación			Granulometría			Constantes Físicas			W. Natural
					AASHTO	Sucs.	>3"	% GRAVA	% ARENA	% FINOS	L.L.	LP	IP	
0.00		01		0.00 - 3.80 m. desmonte. Conformado por suelos diversos, arcilla, arenosa, limosa en estado suelto, húmedo.										
0.10														
0.20														
0.30														
0.40														
0.50														
0.60														
0.70														
0.80														
0.90														
1.00														
1.10														
1.20														
1.30														
1.40														
1.50														
1.60														
1.70														
1.80														
1.90														
2.00														
2.10														
2.20														
2.30														
2.40														
2.50														
2.60														
2.70														
2.80														
2.90														
3.00														
3.10														
3.20														
3.30														
3.40														
3.50														
3.60														
3.70														
3.80														
3.90														
4.00														
4.10														
4.20														
4.30														
4.40														
4.50														
4.60														
4.70														
4.80														
4.90														
5.00														

PERFIL ESTRATIGRÁFICO - SUELOS/REGISTRO DE EXCAVACIÓN DE CALICATA (ASTM - 2488)

SOLICITANTE : ING. WILLIAM SEGOVIA HERRERA
PROYECTO : DISEÑO DE LOS BOTADEROS DME 15, DME 16A y DME 19.
UBICACIÓN : DISTRITO: YANAHUANCA - PROVINCIA: DANIEL ALCIDES CARRION - REGION: PASCO

AREA DE PROYECTO	: DME 15(183+450)	NIVEL FREATICO	: 4.20 ml
CALICATA	: C- 2	NIVEL DE FILTRACION	: -
MUESTRA	: -	TÉCNICO	: J.E.P.
PROFUNDIDAD	: 3.80 m	ING. RESP.	: W.S.H.
COORDENADAS	: ESTE : 326485.63 NORTE : 8827166.03		

PANEL FOTOGRAFICO



TAMAÑO DE CALICATA	
ANCHO	1.20 m.
LARGO	2.70 m.

OBSERVACIONES:

* El fin de la excavación se dio debido a su capacidad máxima de alcance de la maquinaria.

** se encontro nivel freatico a 4.20 m.

		Estrato	Simbolo Grafico	Descripcion Visual del Suelo	Clasificacion		Granulometria			Constantes Fisicas			W. Natural								
					AASHTO	Sucs.	>3"	% GRAVA	% ARENA	% FINOS	L.L.	L.P		IP							
0.00		01		0.00 - 3.50 m. desmonte. Conformado por blonerias y gravas sub angulosas, arcillosa, arenosa, en estado suelto.																	
0.10																					
0.20																					
0.30																					
0.40																					
0.50																					
0.60																					
0.70																					
0.80																					
0.90																					
1.00																					
1.10																					
1.20																					
1.30																					
1.40																					
1.50																					
1.60																					
1.70																					
1.80																					
1.90																					
2.00																					
2.10																					
2.20																					
2.30																					
2.40																					
2.50																					
2.60																					
2.70																					
2.80																					
2.90																					
3.00																					
3.10																					
3.20																					
3.30																					
3.40																					
3.50	02		Suelo residual conformado por arena limosa de color verde grisaceo, húmedo. SE ENCONTRO NIVEL FREATICO A 4.20 m.																		
3.60																					
3.70																					
3.80																					
3.90																					
4.00																					
4.10																					
4.20																					
4.30																					
4.40																					
4.50																					
4.60																					
4.70																					
4.80																					
4.90																					
5.00																					

PERFIL ESTRATIGRÁFICO - SUELOS/REGISTRO DE EXCAVACIÓN DE CALICATA (ASTM - 2488)

SOLICITANTE : ING. WILLIAM SEGOVIA HERRERA
PROYECTO : DISEÑO DE LOS BOTADEROS DME 15, DME 16A y DME 19.
UBICACIÓN : DISTRITO: YANAHUANCA - PROVINCIA: DANIEL ALCIDES CARRION - REGION: PASCO

AREA DE PROYECTO	: DME 15 (183+450)	NIVEL FREÁTICO	: -
CALICATA	: C- 3	NIVEL DE FILTRACION	: 3.10 m.
MUESTRA	: M-1	TÉCNICO	: J.E.F.
PROFUNDIDAD	: 4.30 m	ING. RESP.	: W.S.H.
COORDENADAS	: ESTE : 326521.33 NORTE : 8827250.57		

PANEL FOTOGRÁFICO



TAMAÑO DE CALICATA	
ANCHO	1.30 m.
LARGO	2.80 m.

OBSERVACIONES:

* El fin de la excavacion se dio debido a su capacidad maxima de alcance de la maquinaria.

** -

Prof. (m)	Estrato	Simbolo Grafico	Descripción Visual del Suelo	Clasificación		Granulometria			Constantes Fisicas			W. Natural	
				AASHTO	Sucs.	>3"	% GRAVA	% ARENA	% FNOS	L.L.	LP		IP
0.00	01		Material de desmonte conformado por bloques, bolonerías y gravas sub angulosas, arcillosas, arenosa limosa, húmedo, en estado suelto.										
0.10													
0.20													
0.30													
0.40													
0.50													
0.60													
0.70													
0.80													
0.90													
1.00													
1.10													
1.20													
1.30													
1.40													
1.50	02		Suelo residual conformado por arena limosa, no presenta plasticidad, de color verde grisaceo, muy húmedo. SE OBSERVA FILTRACION DE AGUA A 3.10 m.										
1.60													
1.70													
1.80													
1.90													
2.00													
2.10													
2.20													
2.30													
2.40													
2.50													
2.60													
2.70													
2.80													
2.90													
3.00													
3.10													
3.20													
3.30													
3.40													
3.50													
3.60													
3.70													
3.80													
3.90													
4.00													
4.10													
4.20													
4.30													
4.40													
4.50													
4.60													
4.70													
4.80													
4.90													
5.00													

PERFIL ESTRATIGRÁFICO - SUELOS/REGISTRO DE EXCAVACIÓN DE CALICATA (ASTM - 2488)

SOLICITANTE : ING. WILLIAM SEGOVIA HERRERA
PROYECTO : DISEÑO DE LOS BOTADEROS DME 15, DME 16A y DME 19.
UBICACIÓN : DISTRITO: YANAHUANCA - PROVINCIA: DANIEL ALCIDES CARRION - REGION: PASCO

AREA DE PROYECTO	: DME 15(183+450)	NIVEL FREATICO	: -
CALICATA	: C- 4	NIVEL DE FILTRACION	: -
MUESTRA	: -	TÉCNICO	: J.E.F.
PROFUNDIDAD	: 4.30 m	ING. RESP.	: W.S.H.
COORDENADAS	: ESTE : 326578.12 NORTE : 8827250.57		

PANEL FOTOGRAFICO



TAMAÑO DE CALICATA

ANCHO	1.10 m.
LARGO	3.10 m.

OBSERVACIONES:

* El fin de la excavacion se dio debido a su capacidad maxima de alcance de la maquinaria.

** -

Prof. (m)	Estrato	Simbolo Grafico	Descripción Visual del Suelo	Clasificación		Granulometria				Constantes Fisicas			W. Natural
				AASHTO	Sucs.	>3"	% GRAVA	% ARENA	% FINOS	L.L.	L.P.	P	
0.00	01		Material de desmonte. Conformado por bloques, boloneras y gravas sub angulosas, arcillosas, arenosa limosa, en estado suelto, húmedo.										
0.10													
0.20													
0.30													
0.40													
0.50													
0.60													
0.70													
0.80													
0.90													
1.00													
1.10	02		Top soil.										
1.20													
1.30	03		suelo residual conformado por arena limoso, no plastico, de color verde grisaceo, húmedo.										
1.40													
1.50													
1.60													
1.70													
1.80													
1.90													
2.00													
2.10													
2.20													
2.30													
2.40													
2.50													
2.60													
2.70													
2.80													
2.90													
3.00													
3.10													
3.20													
3.30													
3.40													
3.50													
3.60													
3.70													
3.80													
3.90													
4.00													
4.10													
4.20													
4.30													
4.40													
4.50													
4.60													
4.70													
4.80													
4.90													
5.00													

PERFIL ESTRATIGRÁFICO - SUELOS/REGISTRO DE EXCAVACIÓN DE CALICATA (ASTM - 2488)

SOLICITANTE : ING. WILLIAM SEGOVIA HERRERA
 PROYECTO : DISEÑO DE LOS BOTADEROS DME 15, DME 16A y DME 19.
 UBICACIÓN : DISTRITO: YANAHUANCA - PROVINCIA: DANIEL ALCIDES CARRION - REGION: PASCO

AREA DE PROYECTO	: DME 15(183+450)	NIVEL FREATICO	: -
TRINCHERA	: T-1	NIVEL DE FILTRACION	: -
MUESTRA	: -	TÉCNICO	: J.E.F.
PROFUNDIDAD	: 2.30 m	ING. RESP.	: W.S.H.
COORDENADAS	: ESTE : 326587 NORTE : 8827225		

PANEL FOTOGRAFICO



TAMAÑO DE TRINCHERA	
ANCHO	3.80 m.
LARGO	18 m.

OBSERVACIONES:

* Tincheras ubicadas en la zanja de drenaje

** -

Prof. (m.)	Estrato	Simbolo Grafico	Descripción Visual del Suelo	Clasificación		Granulometría			Constantes Físicas			W. Natural
				AASHTO	Sucs.	>3"	% GRAVA	% ARENA	% FINOS	L.L.	L.P	
0.00	01		Material de desmonte. Conformado por bloques, boloneras y gravas sub angulosas, arcillas arenosa limosa, en estado suelto.									
0.10												
0.20												
0.30												
0.40												
0.50												
0.60												
0.70												
0.80												
0.90												
1.00	02		Top soil									
1.10												
1.20												
1.30												
1.40												
1.50												
1.60												
1.70	03											
1.80												
1.90												
2.00												
2.10												
2.20												
2.30												
2.40												
2.50												
2.60												
2.70												
2.80												
2.90												
3.00												
3.10												
3.20												
3.30												
3.40												
3.50												
3.60												
3.70												
3.80												
3.90												
4.00												
4.10												
4.20												
4.30												
4.40												
4.50												
4.60												
4.70												
4.80												
4.90												
5.00												

PERFIL ESTRATIGRÁFICO - SUELOS/REGISTRO DE EXCAVACIÓN DE CALICATA (ASTM - 2488)

SOLICITANTE : ING. WILLIAM SEGOVIA HERRERA
PROYECTO : DISEÑO DE LOS BOTADEROS DME 15, DME 16A y DME 19.
UBICACIÓN : DISTRITO: YANAHUANCA - PROVINCIA: DANIEL ALCIDES CARRION - REGION: PASCO

AREA DE PROYECTO	: DME 15(183+450)	NIVEL FREATICO	: -
TRINCHERA	: T-2	NIVEL DE FILTRACION	: -
MUESTRA	: -	TÉCNICO	: J.E.F.
PROFUNDIDAD	: 2.40 m	ING. RESP.	: W.S.H.
COORDENADAS	: ESTE : 326580 NORTE : 8827237		

PANEL FOTOGRÁFICO

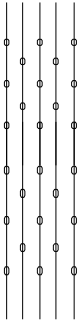


TAMAÑO DE TRINCHERA	
ANCHO	3.70 m.
LARGO	42 m.

OBSERVACIONES:

* Tincheras ubicadas en la zanja de drenaje

** -

Prof. (m)	Estrato	Símbolo Gráfico	Descripción Visual del Suelo	Clasificación		Granulometría			Constantes Físicas			W. Natural
				AASHTO	Sucs.	>3"	% GRAVA	% ARENA	% FINOS	L.L.	LP	
0.00	01		Top soil.									
0.10												
0.20												
0.30												
0.40												
0.50	02		Suelo residual conformado por arena limosa de color beige amarillento, compacto, húmedo.									
0.60												
0.70												
0.80												
0.90												
1.00												
1.10												
1.20												
1.30												
1.40												
1.50												
1.60												
1.70												
1.80												
1.90												
2.00												
2.10												
2.20												
2.30												
2.40												
2.50												
2.60												
2.70												
2.80												
2.90												
3.00												
3.10												
3.20												
3.30												
3.40												
3.50												
3.60												
3.70												
3.80												
3.90												
4.00												
4.10												
4.20												
4.30												
4.40												
4.50												
4.60												
4.70												
4.80												
4.90												
5.00												

PERFIL ESTRATIGRÁFICO - SUELOS/REGISTRO DE EXCAVACIÓN DE CALICATA (ASTM - 2488)

SOLICITANTE : ING. WILLIAM SEGOVIA HERRERA
PROYECTO : DISEÑO DE LOS BOTADEROS DME 15, DME 16A y DME 19.
UBICACIÓN : DISTRITO: YANAHUANCA - PROVINCIA: DANIEL ALCIDES CARRION - REGION: PASCO

AREA DE PROYECTO	: DME 15(183+450)	NIVEL FREATICO	: -
TRINCHERA	: T-3	NIVEL DE FILTRACION	: -
MUESTRA	: -	TÉCNICO	: J.E.F.
PROFUNDIDAD	: 2.10 m	ING. RESP.	: W.S.H.
COORDENADAS	: ESTE : 326554 NORTE : 8827262		

PANEL FOTOGRÁFICO



TAMAÑO DE TRINCHERA

ANCHO	3.20 m.
LARGO	46 m.

OBSERVACIONES:

* Tincheras ubicadas en la zanja de drenaje

** -

Prof. (m)	Estrato	Simbolo Grafico	Descripcion Visual del Suelo	Clasificacion		Granulometria			Constantes Plasticas			W. Natural
				AASHTO	Sucs.	>3"	% GRAVA	% ARENA	% FINOS	L.L.	LP	
0.00	01		Top soil.									
0.10												
0.20												
0.30												
0.40												
0.50												
0.60	02		Suelo residual, conformado por arena limosa, de color beige amarillento, ligeramente humedo.									
0.70												
0.80												
0.90												
1.00												
1.10												
1.20												
1.30												
1.40												
1.50												
1.60												
1.70												
1.80												
1.90												
2.00												
2.10												
2.20												
2.30												
2.40												
2.50												
2.60												
2.70												
2.80												
2.90												
3.00												
3.10												
3.20												
3.30												
3.40												
3.50												
3.60												
3.70												
3.80												
3.90												
4.00												
4.10												
4.20												
4.30												
4.40												
4.50												
4.60												
4.70												
4.80												
4.90												
5.00												

PERFIL ESTRATIGRÁFICO - SUELOS/REGISTRO DE EXCAVACIÓN DE CALICATA (ASTM - 2488)

SOLICITANTE : ING. WILLIAM SEGOVIA HERRERA
PROYECTO : DISEÑO DE LOS BOTADEROS DME 15, DME 16A y DME 19.
UBICACIÓN : DISTRITO: YANAHUANCA - PROVINCIA: DANIEL ALCIDES CARRION - REGION: PASCO

AREA DE PROYECTO	: DME 15(183+450)	NIVEL FREATICO	: -
TRINCHERA	: T-4	NIVEL DE FILTRACION	: -
MUESTRA	: -	TÉCNICO	: J.E.F.
PROFUNDIDAD	: 1.90 m	ING. RESP.	: W.S.H.
COORDENADAS	: ESTE : 326524 NORTE : 8827272	FECHA DE REGISTRO	: 11/10/2019

PANEL FOTOGRÁFICO



TAMANO DE TRINCHERA	
ANCHO	2.40 m.
LARGO	15 m.

OBSERVACIONES:

* Tincheras ubicadas en la zanja de drenaje

** -

Prof. (m)	Estrato	Simbolo Grafico	Descripción Visual del Suelo	Clasificación		Granulometria				Constantes Fisicas			W. Natural
				AASHTO	Sucs.	>3"	% GRAVA	% ARENA	% FINOS	L.L.	L.P.	P	
0.00	01		desmante conformado por bloques, boloneras y gravas sub angulosas, arcillas arenosas limosa, en estado suelto, húmedo.										
0.10													
0.20													
0.30													
0.40													
0.50													
0.60													
0.70													
0.80													
0.90													
1.00	02		Material de Top soil.										
1.10													
1.20													
1.30													
1.40													
1.50													
1.60													
1.70													
1.80													
1.90													
2.00													
2.10													
2.20													
2.30													
2.40													
2.50													
2.60													
2.70													
2.80													
2.90													
3.00													
3.10													
3.20													
3.30													
3.40													
3.50													
3.60													
3.70													
3.80													
3.90													
4.00													
4.10													
4.20													
4.30													
4.40													
4.50													
4.60													
4.70													
4.80													
4.90													
5.00													

PERFIL ESTRATIGRÁFICO - SUELOS/REGISTRO DE EXCAVACIÓN DE CALICATA (ASTM - 2488)

SOLICITANTE : ING. WILLIAM SEGOVIA HERRERA
PROYECTO : DISEÑO DE LOS BOTADEROS DME 15, DME 16A y DME 19.
UBICACIÓN : DISTRITO: YANAHUANCA - PROVINCIA: DANIEL ALCIDES CARRION - REGION: PASCO

AREA DE PROYECTO	DME 15(183+450)			NIVEL FREÁTICO	:	-
TRINCHERA	T-5			NIVEL DE FILTRACION	:	-
MUESTRA	-			TÉCNICO	:	J.E.F.
PROFUNDIDAD	1.40 m			ING. RESP.	:	W.S.H.
COORDENADAS	ESTE	326492	NORTE	827285	FECHA DE REGISTRO	11/10/2019

PANEL FOTOGRÁFICO



TAMANO DE TRINCHERA

ANCHO	1.40 m.
LARGO	81 m.

OBSERVACIONES:

* Tincheras ubicadas en la zanja de drenaje

** -

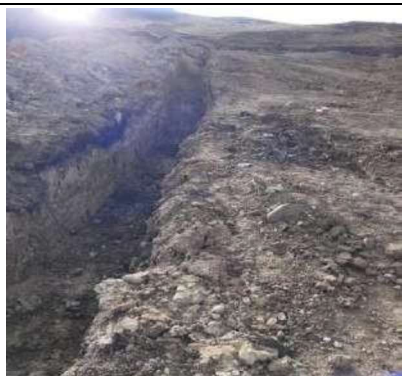
Prof. (m)	Estrato	Simbolo Grafico	Descripción Visual del Suelo	Clasificación		Granulometría				Constantes Plásticas			W. Natural
				AASHTO	Sucs.	>3"	% GRAVA	% ARENA	% FINOS	L.L.	LP	P	
0.00	01		Top soil.										
0.10													
0.20													
0.30													
0.40													
0.50	02		suelo residual conformado por arena limosa, de color beige amarillento, ligeramente húmedo.										
0.60													
0.70													
0.80													
0.90													
1.00													
1.10													
1.20													
1.30													
1.40													
1.50													
1.60													
1.70													
1.80													
1.90													
2.00													
2.10													
2.20													
2.30													
2.40													
2.50													
2.60													
2.70													
2.80													
2.90													
3.00													
3.10													
3.20													
3.30													
3.40													
3.50													
3.60													
3.70													
3.80													
3.90													
4.00													
4.10													
4.20													
4.30													
4.40													
4.50													
4.60													
4.70													
4.80													
4.90													
5.00													

PERFIL ESTRATIGRÁFICO - SUELOS/REGISTRO DE EXCAVACIÓN DE CALICATA (ASTM - 2488)

SOLICITANTE : ING. WILLIAM SEGOVIA HERRERA
PROYECTO : DISEÑO DE LOS BOTADEROS DME 15, DME 16A y DME 19.
UBICACIÓN : DISTRITO: YANAHUANCA - PROVINCIA: DANIEL ALCIDES CARRION - REGION: PASCO

AREA DE PROYECTO	: DME 15(183+450)	NIVEL FREATICO	: -
TRINCHERA	: T-6	NIVEL DE FILTRACION	: -
MUESTRA	: -	TÉCNICO	: J.E.F.
PROFUNDIDAD	: 1.70 m	ING. RESP.	: W.S.H.
COORDENADAS	: ESTE : 326437 NORTE : 8827297	FECHA DE REGISTRO	: 11/10/2019

PANEL FOTOGRAFICO



TAMAÑO DE TRINCHERA

ANCHO	1.90 m.
LARGO	20 m.

OBSERVACIONES:

* Tincheras ubicadas en la zanja de drenaje

** -

Prof. (m.)	Estrato	Símbolo Gráfico	Descripción Visual del Suelo	Clasificación		Granulometría			Constantes Físicas			W. Natural
				AASHTO	Sucs.	>3"	% GRAVA	% ARENA	% FINOS	L.L.	LP	
0.00	01		Material de desmonte conformado por boloneras y gravas sub angulosas.									
0.10												
0.20												
0.30												
0.40	02		Material de top soil.									
0.50												
0.60												
0.70												
0.80	03		suelo residual conformado por limo arenoso, de color pardo amarillento claro, ligeramente húmedo.									
0.90												
1.00												
1.10												
1.20												
1.30												
1.40												
1.50												
1.60												
1.70												
1.80												
1.90												
2.00												
2.10												
2.20												
2.30												
2.40												
2.50												
2.60												
2.70												
2.80												
2.90												
3.00												
3.10												
3.20												
3.30												
3.40												
3.50												
3.60												
3.70												
3.80												
3.90												
4.00												
4.10												
4.20												
4.30												
4.40												
4.50												
4.60												
4.70												
4.80												
4.90												
5.00												

PERFIL ESTRATIGRÁFICO - SUELOS/REGISTRO DE EXCAVACIÓN DE CALICATA (ASTM - 2488)

SOLICITANTE : ING. WILLIAM SEGOVIA HERRERA
PROYECTO : DISEÑO DE LOS BOTADEROS DME 15, DME 16A y DME 19.
UBICACIÓN : DISTRITO: YANAHUANCA - PROVINCIA: DANIEL ALCIDES CARRION - REGION: PASCO

AREA DE PROYECTO	: DME 15(183+450)	NIVEL FREATICO	: -
TRINCHERA	: T-7	NIVEL DE FILTRACION	: -
MUESTRA	: -	TÉCNICO	: J.E.F.
PROFUNDIDAD	: 1.40 m	ING. RESP.	: W.S.H.
COORDENADAS	: ESTE : 326437 NORTE : 8827308	FECHA DE REGISTRO	: 11/10/2019

PANEL FOTOGRAFICO



TAMAÑO DE TRINCHERA

ANCHO	1.90 m.
LARGO	35 m.

OBSERVACIONES:

* Tincheras ubicadas en la zanja de drenaje

** -

Prof. (m.)	Estrato	Simbolo Grafico	Descripcion Visual del Suelo	Clasificacion		Granulometria			Constantes Fisicas			W. Natural
				AASHTO	Sucs.	>3"	% GRAVA	% ARENA	% FINOS	L.L.	LP	
0.00	01		Material de desmonte conformado por bloques, boloneras y gravas sub angulosas, arcillas arenosa, limosa, húmedo.									
0.10												
0.20												
0.30												
0.40												
0.50												
0.60												
0.70												
0.80												
0.90												
1.00												
1.10												
1.20												
1.30												
1.40												
1.50												
1.60												
1.70												
1.80												
1.90												
2.00												
2.10												
2.20												
2.30												
2.40												
2.50												
2.60												
2.70												
2.80												
2.90												
3.00												
3.10												
3.20												
3.30												
3.40												
3.50												
3.60												
3.70												
3.80												
3.90												
4.00												
4.10												
4.20												
4.30												
4.40												
4.50												
4.60												
4.70												
4.80												
4.90												
5.00												

PERFIL ESTRATIGRÁFICO - SUELOS/REGISTRO DE EXCAVACIÓN DE CALICATA (ASTM - 2488)

SOLICITANTE : ING. WILLIAM SEGOVIA HERRERA
PROYECTO : DISEÑO DE LOS BOTADEROS DME 15, DME 16A y DME 19.
UBICACIÓN : DISTRITO: YANAHUANCA - PROVINCIA: DANIEL ALCIDES CARRION - REGION: PASCO

AREA DE PROYECTO	: DME 15(183+450)	NIVEL FREATICO	: 2.50 m.
TRINCHERA	: T-8	NIVEL DE FILTRACION	: -
MUESTRA	: -	TÉCNICO	: J.E.F.
PROFUNDIDAD	: 2.70 m	ING. RESP.	: W.S.H.
COORDENADAS	: ESTE : 326554 NORTE : 8827222	FECHA DE REGISTRO	: 11/10/2019

PANEL FOTOGRAFICO



TAMAÑO DE TRINCHERA

ANCHO	: 3.70 m.
LARGO	: 30 m.

OBSERVACIONES:

* Tincheras ubicadas en la zanja de drenaje

** -

Prof. (m)	Estrato	Simbolo Grafico	Descripcion Visual del Suelo	Clasificacion		Granulometria			Constantes Fisicas			W. Natural
				AASHTO	Sucs.	>3"	% GRAVA	% ARENA	% FINOS	L.L.	LP	
0.00	01		desmonte. Conformado por bloques, bolonerías y gravas sub angulosas, arcillas arenosa limosa, en estado suelto, húmedo.									
0.10												
0.20												
0.30												
0.40												
0.50												
0.60												
0.70												
0.80												
0.90												
1.00	02		suelo residual conformado por arena limosa, no presenta plasticidad, saturado. PRESENTA NIVEL FREATICO A 2.50 m.									
1.10												
1.20												
1.30												
1.40												
1.50												
1.60												
1.70												
1.80												
1.90												
2.00												
2.10												
2.20												
2.30												
2.40												
2.50												
2.60												
2.70												
2.80												
2.90												
3.00												
3.10												
3.20												
3.30												
3.40												
3.50												
3.60												
3.70												
3.80												
3.90												
4.00												
4.10												
4.20												
4.30												
4.40												
4.50												
4.60												
4.70												
4.80												
4.90												
5.00												

DATOS DEL SOLICITANTE	
Solicitante:	ING. WILLIAM SEGOVIA HERRERA
Proyecto:	DISEÑO DE BOTADEROS DME 15 (183+450)
Ubicación :	DISTRITO: YANAHUANCA - PROVINCIA: DANIEL ALCIDES CARRION - REGION: PASCO

DATOS DE LA MUESTRA

TRINCHERA T-3
PROFUNDIDAD 2.10 m.

DENSIDAD IN SITU POR EL METODO DEL CONO DE ARENA (ASTM D1556)
--

DATOS DEL EQUIPO DE ENSAYO EMPLEADO

Identificación de Conjunto:	Certificado de calibración de arena:
-----------------------------	--------------------------------------

DATOS DEL MATERIAL DE PLATAFORMA

Certificado N° : WSH-0085-19	Fecha de ensayo: 11/10/2019	Descripción visual:
------------------------------	-----------------------------	---------------------

IDENTIFICACIÓN DE PUNTO DE ENSAYO

N° de prueba	D-1	-	-	-	-
Muestra N°	TRINCHERA-3	-	-	-	-
Ubicación del punto de ensayo	DME 15 (183+450)	-	-	-	-
COORDENADAS - ESTE	-	-	-	-	-
COORDENADAS - NORTE	-	-	-	-	-
COTA en punto de ensayo	-	-	-	-	-

PROCEDIMIENTO DE CAMPO

1	Peso de suelo extraído + tara (g)	determinar	4500	-	-	-	-
2	Peso de tara (g)	determinar	-	-	-	-	-
3	Peso del suelo Extraído (g)	(1)-(2)	4500	-	-	-	-
4	Peso Inicial de Arena + Frasco (g)	determinar	7545	-	-	-	-
5	Peso de Arena que queda + Frasco (g)	determinar	2075	-	-	-	-
6	Peso de Arena en Cono (g)	Dato de calib.	1526	-	-	-	-
7	Peso de Arena Empleada (g)	(4)-(5)-(6)	3944	-	-	-	-
8	Densidad de arena de ensayo (g/cm3)	Dato de calib.	1.426	-	-	-	-
9	Volumen total del Hueco (cm3)	(7)/(8)	2765.8	-	-	-	-
	Tamiz que define la fracción Sobretamaño	Nota 1		-	-	-	-
10	Peso de grava sobretamaño (g)	determinar	0	-	-	-	-
11	Humedad del suelo (%) ASTM D2216	Resultado	22.0	-	-	-	-

CALCULO DE DENSIDAD Y COMPACTACIÓN

12	Densidad húmeda del suelo global (g/cm3)	(3)/(9)	1.627	-	-	-	-
13	Densidad seca del suelo global(g/cm3)	(12)/[1+(11)/100]	1.334	-	-	-	-
14	Grava sobretamaño (%)	(10)/(3)*100	-	-	-	-	-
15	Densidad seca menor a 3/4 pulg.	-	-	-	-	-	-
16	Compactación (%)	(13)/(15)*100	-	-	-	-	-

Nota 1: de no contar con el ensayo de proctor definir con el tamiz 3/4"

Nota 2: $100 \cdot (b \cdot e \cdot w) / [b \cdot d + w \cdot (100 - d) \cdot e]$

OBSERVACIONES

LAS PRUEBAS DE DENSIDAD, SE REALIZARON DENTRO DE LA ZANJA DE DRENAJE - TRINCHERA 3 a 2.10 m.

		ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO GLOBAL POR TAMIZADO ASTM D-6913		Fecha de registro : Octubre 2019 Página 1 de 1						
SOLICITANTE:		ING. WILLIAM SEGOVIA HERRERA								
PROYECTO:		DISEÑO DE LOS BOTADEROS DME 13 (175+740)								
UBICACIÓN:		DISTRITO: YANAHUANCA - PROVINCIA: DANIEL ALCIDES CARRION - REGION: PASCO								
		FECHA DE EMISIÓN: 21/10/2019								
MUESTRA										
UBICACIÓN:		DME 13		CALICATA: -						
MATERIAL:		DESMONTE		OPERADOR: J.C.E.F.						
MUESTRA:		M-2		SUPERVISOR: W.S.H.						
TAMIZADO										
N	TAMIZ		PESO (g)		PORCENTAJE				PASA CORREGIDO	ESPECIFICACIÓN
	(pulg)	(mm)	USADO	RETEN	PARC	ACUM	PASA			
1	25	635.000	307,980					100.0	100.0	
2	23	584.200		0	0.0	0.0	100.0	100.0		
3	22	558.800		0	0.0	0.0	100.0	100.0		
4	21	533.400		0	0.0	0.0	100.0	100.0		
5	20	508.000		67,420	12.2	12.2	87.8	87.8		
6	19	482.600		75,000	13.6	25.8	74.2	74.2		
7	18	457.200								
8	17	431.800								
9	16	406.400								
10	15	381.000		13,525	2.5	28.3	71.7	71.7		
11	14	355.600								
12	13	330.200								
13	12	304.800		15,520	2.8	31.1	68.9	68.9		
14	11	279.400		9,550	1.7	32.8	67.2	67.2		
15	10	254.000		14,600	2.6	35.4	64.6	64.6		
16	9	228.600		16,560	3.0	38.4	61.6	61.6		
17	8	203.200		18,070	3.3	41.7	58.3	58.3		
18	7	177.800		22,930	4.2	45.9	54.1	54.1		
19	6	152.400		13,665	2.5	48.3	51.7	51.7		
20	5	127.000		22,900	4.1	52.5	47.5	47.5		
21	4	101.600		8,490	1.5	54.0	46.0	46.0		
22	3	76.200		9,750	1.8	55.8	44.2	44.2		
23	2	50.600						42.0		
24	1 1/2	38.100						39.3		
25	1	25.400						33.6		
26	3/4	19.050						31.8		
27	1/2	12.700						29.0		
28	3/8	9.525						27.0		
30	# 4	4.760						23.7		
31	# 10	2.000						21.6		
32	# 20	0.840						19.7		
33	# 40	0.420						18.5		
34	# 60	0.250						17.7		
35	# 100	0.150						17.0		
35	# 140	0.106						16.6		
36	# 200	0.075						16.2		
4.-RESUMEN										
DESCRIPCION	VALOR %									
BLOQUES	31.1									
BOLONERIAS	24.7									
GRAVAS	20.5									
ARENAS	7.5									
FINOS	16.2									
CLASIFICACION VISUAL										
GP-GC: Grava mal gradada con arcilla .										
OBSERVACIONES										
LAS MUESTRAS MENORES A 3 PULG. FUERON ENSAYADOS EN EL LABORATORIO.										
PESO MUESTRA >3":	307,980.00 g	MATERIAL < 3"	271,015 g	PESO SECO <3"	247,051 g					
PESO MUESTRA SECA >3":	304,930.69 g	PESO SECO MATERIAL GLOBAL	551,982 g							
CURVA GRANULOMETRICA										

		ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO GLOBAL POR TAMIZADO ASTM D-6913		Fecha de registro : Octubre 2019 Página 1 de 1					
SOLICITANTE: ING. WILLIAM SEGOVIA HERRERA									
PROYECTO: DISEÑO DE LOS BOTADEROS DME 13 (175+740)									
UBICACIÓN: DISTRITO: YANAHUANCA - PROVINCIA: DANIEL ALCIDES CARRION - REGION: PASCO				FECHA DE EMISIÓN: 21/10/2019					
MUESTRA									
UBICACIÓN: DME 13		CALICATA: -		PERSONAL OPERADOR: J.C.E.F.					
MATERIAL: DESMONTE		PROFUND.: -		SUPERVISOR: W.S.H.					
MUESTRA: M-3									
TAMIZADO									
N	TAMIZ		PESO (g)	PORCENTAJE				PASA CORREGIDO	ESPECIFICACIÓN
	(pulg)	(mm)		USADO	RETEN	PARC	ACUM		
1	25	635.000	267,685					100.0	100.0
2	23	584.200		25,295	5.2	5.2	94.8	94.8	
3	22	558.800		19,625	4.0	9.2	90.8	90.8	
4	21	533.400							
5	20	508.000							
6	19	482.600		26,090	5.3	14.5	85.5	85.5	
7	18	457.200							
8	17	431.800		22,115	4.5	19.0	81.0	81.0	
9	16	406.400		15,525	3.2	22.2	77.8	77.8	
10	15	381.000							
11	14	355.600		11,280	2.3	24.5	75.5	75.5	
12	13	330.200		13,955	2.8	27.3	72.7	72.7	
13	12	304.800		4,390	0.9	28.2	71.8	71.8	
14	11	279.400		12,990	2.7	30.9	69.1	69.1	
15	10	254.000		19,330	3.9	34.8	65.2	65.2	
16	9	228.600		18,880	3.9	38.7	61.3	61.3	
17	8	203.200		27,265	5.6	44.2	55.8	55.8	
18	7	177.800		17,270	3.5	47.8	52.2	52.2	
19	6	152.400		15,155	3.1	50.9	49.1	49.1	
20	5	127.000		10,780	2.2	53.1	46.9	46.9	
21	4	101.600		4,540	0.9	54.0	46.0	46.0	
22	3	76.200		3,200	0.7	54.6	45.4	45.4	
23	2	50.600						43.2	
24	1 1/2	38.100						40.8	
25	1	25.400						38.6	
26	3/4	19.050						37.7	
27	1/2	12.700						35.2	
28	3/8	9.525						33.8	
30	# 4	4.760						31.1	
31	# 10	2.000						28.9	
32	# 20	0.840						26.1	
33	# 40	0.420						23.9	
34	# 60	0.250						22.3	
35	# 100	0.150						21.0	
35	# 140	0.106						20.2	
36	# 200	0.075						19.6	
RESUMEN									
DESCRIPCION	VALOR %								
BLOQUES									
BLOQUES	28.2								
BOLONERIAS									
BOLONERIAS	26.4								
GRAVA									
GRAVA	14.3								
ARENA									
ARENA	11.5								
FINOS									
FINOS	19.6								
CLASIFICACION VISUAL									
GP-GC: Grava mal gradada con arcilla .									
OBSERVACIONES									
LAS MUESTRAS MENORES A 3 PULG. FUERON ENSAYADOS EN EL LABORATORIO.									
PESO MUESTRA >3"	267,685.00 g	MATERIAL < 3"	245,765 g	PESO SECO <3"	225,060 g				
PESO MUESTRA SECA >3"	264,772.50 g	PESO SECO MATERIAL GLOBAL	489,832 g						

LABORATORIO GEOTECNICO

SOLICITANTE	ING. WILLIAM SEGOVIA HERRERA
PROYECTO	DISEÑO DE LOS BOTADEROS DME 15, DME 16A Y DME 19.
UBICACIÓN	DISTRITO: YANAHUANCA - PROVINCIA: DANIEL ALCIDES CARRION - REGION: PASCO
FECHA DE REGISTRO	12/10/2019
FECHA DE EMISION	21/10/2019

ENSAYO DE PERMEABILIDAD IN SITU

DATOS DEL ENSAYO

PUNTO DE ENSAYO	DME 13 (Km. 175 + 740)	REGISTRADO POR	J.E.C.F
N° PRUEBA	P-1	REVISADO POR:	W.S.H.

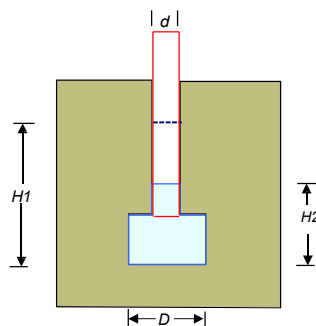
METODO DE CARGA VARIABLE (Lambe - Whitman 1960)

ECUACIONES :

$$km = \frac{d^2}{8L\Delta t} \ln\left(\frac{H1}{H2}\right) \ln\left(\frac{L}{D} + \sqrt{1 + \left(\frac{L}{D}\right)^2}\right)$$

Descripción Variables:

km = Conductividad Hidráulica media (cm / seg)
 d = Diámetro del tubo superior (cm)
 D = Diámetro del hueco en la cámara inferior (cm)
 H1 = Carga piezométrica para t=t1 (cm)
 H2 = Carga piezométrica para t=t2 (cm)
 L = Longitud del bulbo de ensayo (cm)
 Δt = Tiempo transcurrido para bajar del nivel H1 al H2 (seg)



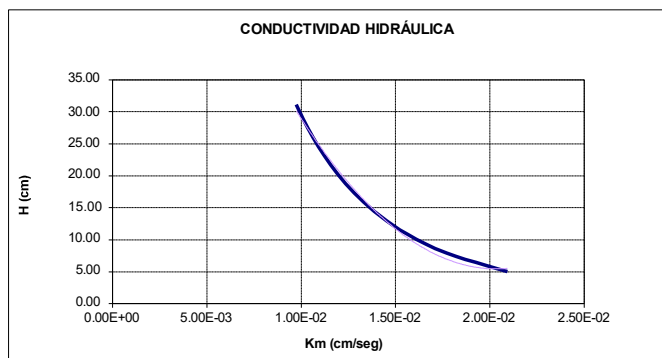
DATOS:

d =	10.16	cm
D =	15.00	cm
H1 =	34.0	cm
H2 =	5.0	cm
L =	15.0	cm
Δt =	180.0	seg
L/D =	1.000	

$$km = 8.1E-03 \text{ cm/seg}$$

VARIACIÓN DE k:

	H	t	Km
1	34.00	0.000	
2	31.10	18.000	9.735E-03
3	28.20	36.000	1.021E-02
4	25.30	54.000	1.076E-02
5	22.40	72.000	1.139E-02
6	19.50	90.000	1.214E-02
7	16.60	108.000	1.305E-02
8	13.70	126.000	1.418E-02
9	10.80	144.000	1.565E-02
10	7.90	162.000	1.771E-02
11	5.00	180.000	2.093E-02



LABORATORIO GEOTECNICO

SOLICITANTE	ING. WILLIAM SEGOVIA HERRERA
PROYECTO	DISEÑO DE LOS BOTADEROS DME 15, DME 16A Y DME 19.
UBICACIÓN	DISTRITO: YANAHUANCA - PROVINCIA: DANIEL ALCIDES CARRION - REGION: PASCO
FECHA DE REGISTRO	12/10/2019
FECHA DE EMISION	21/10/2019

ENSAYO DE PERMEABILIDAD IN SITU

DATOS DEL ENSAYO

PUNTO DE ENSAYO	DME 13 (Km. 175 + 740)	REGISTRADO POR:	J.E.C.F
N° PRUEBA	P-2	REVISADO POR:	W.S.H.

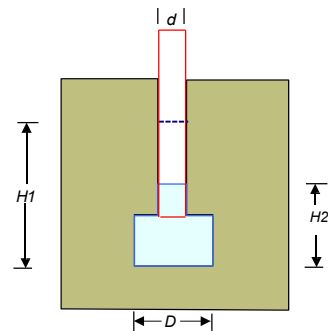
METODO DE CARGA VARIABLE (Lambe - Whitman 1960)

ECUACIONES :

$$km = \frac{d^2}{8L \Delta t} \ln \left(\frac{H1}{H2} \right) \ln \left(\frac{L}{D} + \sqrt{1 + \left(\frac{L}{D} \right)^2} \right)$$

Descripción Variables:

km = Conductividad Hidráulica media (cm / seg)
 d = Diámetro del tubo superior (cm)
 D = Diámetro del hueco en la cámara inferior (cm)
 H1 = Carga piezométrica para t=t1 (cm)
 H2 = Carga piezométrica para t=t2 (cm)
 L = Longitud del bulbo de ensayo (cm)
 Δt = Tiempo transcurrido para bajar del nivel H1 al H2 (seg)



DATOS:

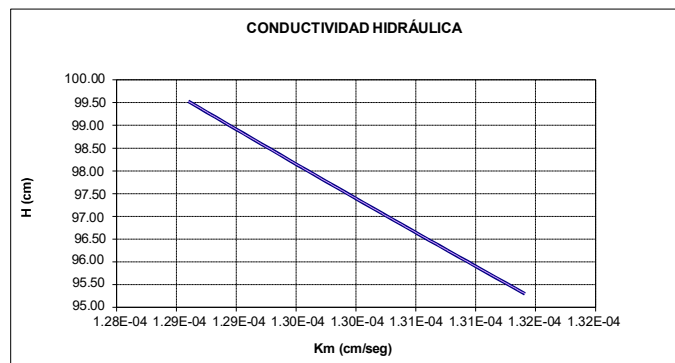
d =	10.16	cm
D =	15.00	cm
H1 =	100.0	cm
H2 =	95.3	cm
L =	12.0	cm
Δt =	720.0	seg

L/D = 0.800

km = 5.3E-05 cm/seg

VARIACIÓN DE k:

	H	t	Km
1	100.00	0.000	
2	99.53	72.000	1.286E-04
3	99.06	144.000	1.289E-04
4	98.59	216.000	1.292E-04
5	98.12	288.000	1.295E-04
6	97.65	360.000	1.298E-04
7	97.18	432.000	1.301E-04
8	96.71	504.000	1.305E-04
9	96.24	576.000	1.308E-04
10	95.77	648.000	1.311E-04
11	95.30	720.000	1.314E-04



LABORATORIO GEOTECNICO

SOLICITANTE	ING. WILLIAM SEGOVIA HERRERA
PROYECTO	DISEÑO DE LOS BOTADEROS DME 15, DME 16A Y DME 19.
UBICACIÓN	DISTRITO: YANAHUANCA - PROVINCIA: DANIEL ALCIDES CARRION - REGION: PASCO
FECHA DE REGISTRO	12/10/2019
FECHA DE EMISION	24/10/2019

ENSAYO DE PERMEABILIDAD IN SITU

DATOS DEL ENSAYO

PUNTO DE ENSAYO	DME 13 (Km. 175 + 740)	REGISTRADO POR:	J.E.C.F
Nº PRUEBA	P-3	REVISADO POR:	W.S.H.

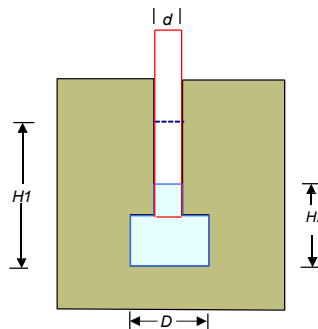
METODO DE CARGA VARIABLE (Lambe - Whitman 1960)

ECUACIONES :

$$km = \frac{d^2}{8L \Delta t} \ln \left(\frac{H1}{H2} \right) \ln \left(\frac{L}{D} + \sqrt{1 + \left(\frac{L}{D} \right)^2} \right)$$

Descripción Variables:

km = Conductividad Hidráulica media (cm / seg)
 d = Diámetro del tubo superior (cm)
 D = Diámetro del hueco en la cámara inferior (cm)
 H1 = Carga piezométrica para t=t1 (cm)
 H2 = Carga piezométrica para t=t2 (cm)
 L = Longitud del bulbo de ensayo (cm)
 Δt = Tiempo transcurrido para bajar del nivel H1 al H2 (seg)



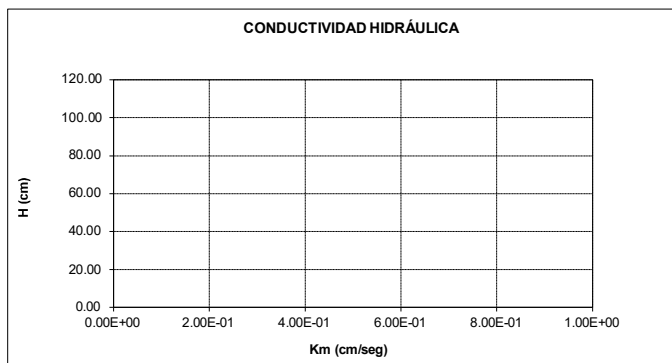
DATOS:

d =	10.16	cm
D =	15.00	cm
H1 =	100.0	cm
H2 =	100.0	cm
L =	0.0	cm
Δt =	0.0	seg
L/D =	0.000	

km = cm/seg

VARIACIÓN DE k:

	H	t	Km
1	100.00	0.000	
2	100.00	0.000	
3	100.00	0.000	
4	100.00	0.000	
5	100.00	0.000	
6	100.00	0.000	
7	100.00	0.000	
8	100.00	0.000	
9	100.00	0.000	
10	100.00	0.000	
11	100.00	0.000	



OBSERVACIONES : SE PERCOLA TODO EL AGUA

LABORATORIO GEOTECNICO

SOLICITANTE	ING. WILLIAM SEGOVIA HERRERA
PROYECTO	DISEÑO DE LOS BOTADEROS DME 15, DME 16A Y DME 19.
UBICACIÓN	DISTRITO: YANAHUANCA - PROVINCIA: DANIEL ALCIDES CARRION - REGION: PASCO
FECHA DE REGISTRO	12/10/2019
FECHA DE EMISION	21/10/2019

ENSAYO DE PERMEABILIDAD IN SITU

DATOS DEL ENSAYO

PUNTO DE ENSAYO	DME 13 (Km. 175 + 740)	REGISTRADO POR:	J.E.C.F
N° PRUEBA	P-4	REVISADO POR:	W.S.H.

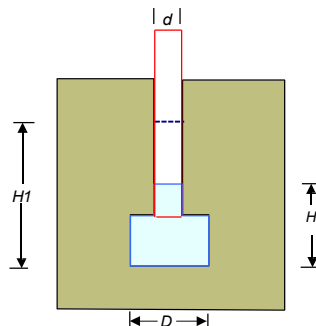
METODO DE CARGA VARIABLE (Lambe - Whitman 1960)

ECUACIONES :

$$km = \frac{d^2}{8L \Delta t} \ln \left(\frac{H1}{H2} \right) \ln \left(\frac{L}{D} + \sqrt{1 + \left(\frac{L}{D} \right)^2} \right)$$

Descripción Variables:

km = Conductividad Hidráulica media (cm / seg)
 d = Diámetro del tubo superior (cm)
 D = Diámetro del hueco en la cámara inferior (cm)
 H1 = Carga piezométrica para t=t1 (cm)
 H2 = Carga piezométrica para t=t2 (cm)
 L = Longitud del bulbo de ensayo (cm)
 Δt = Tiempo transcurrido para bajar del nivel H1 al H2 (seg)



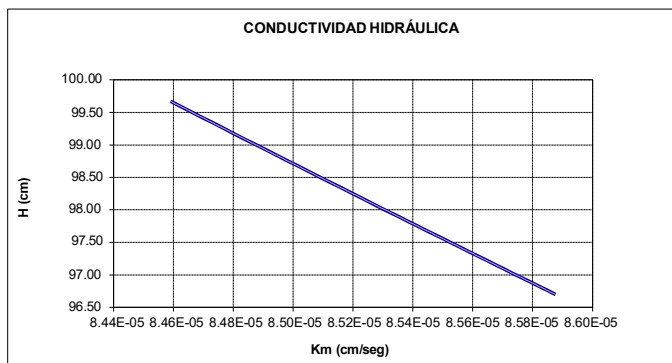
DATOS:

d =	10.16	cm
D =	16.00	cm
H1 =	100.0	cm
H2 =	96.7	cm
L =	10.0	cm
Δt =	720.0	seg
L/D =	0.625	

$$km = 3.5E-05 \text{ cm/seg}$$

VARIACIÓN DE k:

	H	t	Km
1	100.00	0.000	
2	99.67	72.000	8.459E-05
3	99.34	144.000	8.473E-05
4	99.01	216.000	8.487E-05
5	98.68	288.000	8.501E-05
6	98.35	360.000	8.516E-05
7	98.02	432.000	8.530E-05
8	97.69	504.000	8.544E-05
9	97.36	576.000	8.559E-05
10	97.03	648.000	8.573E-05
11	96.70	720.000	8.588E-05



LABORATORIO GEOTECNICO

SOLICITANTE	ING. WILLIAM SEGOVIA HERRERA
PROYECTO	DISEÑO DE LOS BOTADEROS DME 15, DME 16A Y DME 19.
UBICACIÓN	DISTRITO: YANAHUANCA - PROVINCIA: DANIEL ALCIDES CARRION - REGION: PASCO
FECHA DE REGISTRO	11/10/2019
FECHA DE EMISION	21/10/2019

ENSAYO DE PERMEABILIDAD IN SITU

DATOS DEL ENSAYO

PUNTO DE ENSAYO	DME 15 (Km. 183 + 450)	REGISTRADO POR:	J.E.C.F
N° PRUEBA	P-1	REVISADO POR:	W.S.H.

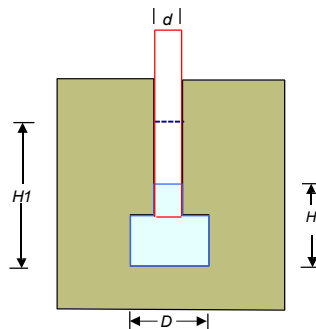
METODO DE CARGA VARIABLE (Lambe - Whitman 1960)

ECUACIONES :

$$km = \frac{d^2}{8L \Delta t} \ln \left(\frac{H1}{H2} \right) \ln \left(\frac{L}{D} + \sqrt{1 + \left(\frac{L}{D} \right)^2} \right)$$

Descripción Variables:

km = Conductividad Hidráulica media (cm / seg)
 d = Diámetro del tubo superior (cm)
 D = Diámetro del hueco en la cámara inferior (cm)
 H1 = Carga piezométrica para t=t1 (cm)
 H2 = Carga piezométrica para t=t2 (cm)
 L = Longitud del bulbo de ensayo (cm)
 Δt = Tiempo transcurrido para bajar del nivel H1 al H2 (seg)



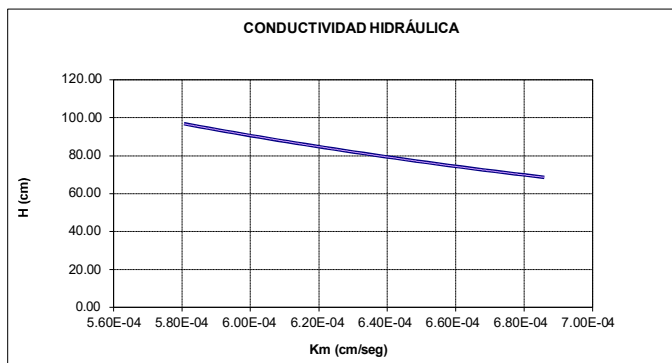
DATOS:

d =	10.16	cm
D =	18.00	cm
H1 =	100.0	cm
H2 =	68.6	cm
L =	10.0	cm
Δt =	900.0	seg
L/D =	0.556	

$$km = 2.9E-04 \text{ cm/seg}$$

VARIACIÓN DE k:

	H	t	Km
1	100.00	0.000	
2	96.86	90.000	5.806E-04
3	93.72	180.000	5.902E-04
4	90.58	270.000	6.002E-04
5	87.44	360.000	6.106E-04
6	84.30	450.000	6.216E-04
7	81.16	540.000	6.331E-04
8	78.02	630.000	6.453E-04
9	74.88	720.000	6.581E-04
10	71.74	810.000	6.716E-04
11	68.60	900.000	6.859E-04



**REPORTE FINAL
ESTUDIO DE GEOFISICA CON LOS METODOS DE
REFRACCION SISMICA Y MASW-1D: DME-15
YANAHUANCA - CERRO DE PASCO**

Octubre 2019

INDICE

1.0	INTRODUCCION	2
1.0	INTRODUCCION	2
1.1	OBJETIVOS DEL ESTUDIO	2
1.2	UBICACIÓN Y ACCESO	2
1.3	GEOGRAFIA.....	3
1.4	FLORA Y FAUNA	4
1.5	HIDROLOGIA.....	4
1.6	GEOLOGIA REGIONAL.....	5
2.0	REFRACCION SISMICA	8
2.0	METODO DE REFRACCION SISMICA.....	8
2.1	LEY DE REFRACCIÓN	8
3.0	METODOLOGIA APLICADA	10
3.0	TRABAJO DE CAMPO.....	10
3.1	REGISTRO SISMICO.....	11
3.2	PARÁMETROS DE REGISTRO SISMICO.....	12
3.3	EQUIPO SÍSMICO: GEODE	13
3.4	PERSONAL QUE PARTICIPO EN EL ESTUDIO	14
3.5	UBICACIÓN DE LINEAS SISMICAS EN CAMPO	15
4.0	PROCESAMIENTO DE DATOS	17
4.0	SECUENCIA DE PROCESAMIENTO.....	17
4.1	PERFILES DE REFRACCION SISMICA.....	17
4.2	INTERPRETACION DE RESULTADOS.....	18
5.0	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	21
6.0	BIBLIOGRAFIA	22
7.0	ANEXOS	23
8.0	PANEL DE FOTOGRAFIAS	32

1.0 INTRODUCCION

1.0 INTRODUCCION

El estudio de Geofísica realizado corresponde al proyecto **SUPERVISION DE OBRA: MEJORAMIENTO DE LA CARRETERA OYON – AMBO: TRAMO II**, desvió Cerro de Pasco (km 181+000) y desvió Chacayán (km 230+000). Este estudio viene siendo desarrollado por el **CONSORCIO SUPERVISOR OYON CHACAYAN**, integrado por varias empresas. El ingeniero Williams Segovia, nos solicitó una propuesta económica para realizar un estudio de geofísica aplicando el método de refracción sísmica y MASW-1D. Con fecha 06 de octubre nuestra propuesta fue aceptada y nos trasladamos a la zona de trabajo el 07 de octubre del 2019, llegando a la zona de trabajo el día 8 de octubre al pueblo de Yanahuanca que fue el centro de operaciones de nuestra brigada de geofísica.

Este proyecto vial es muy importante porque unirá la región de Pasco, Huánuco y Lima y ayudará a descongestionar la carretera central que actualmente está colapsada.

1.1 OBJETIVOS DEL ESTUDIO

-Determinar la profundidad de la zona de contacto suelo roca en los Depósitos de Movimientos de Tierra Excedentes (DME).

-Caracterizar mediante el registro de las ondas P y S los módulos elásticos dinámicos que nos permitan caracterizar un medio de contacto suelo vs roca.

1.2 UBICACIÓN Y ACCESO

Yanahuanca fue la ciudad desde donde operamos y está ubicada en el centro del Perú, capital de la Provincia de Daniel Alcides Carrión (Departamento de Pasco), ubicado a 3,184 m.s.n.m. y situada en la vertiente oriental de la Cordillera de los Andes, en el valle que forma el río Chaupihuaranga, afluente del Huallaga. El distrito de Yanahuanca se encuentra situado en las regiones naturales quechua, Suni, Puna o Jalca y Janca o Cordillera.

Para llegar hasta el pueblo de **Yanahuanca**, se conecta con **Lima** por la carretera central hasta **Cerro de Pasco** con un recorrido de 370 km de carretera asfaltada y desde **Cerro de Pasco** a **Yanahuanca** con 64 km de carretera casi completamente asfaltada.

La Red vial de la provincia Daniel Alcides Carrión comprende: La Red Vial Nacional PE-18 (desde Huaura hasta Ambo, pasando por Oyón y Yanahuanca) que está en estado de carretera afirmada no asfaltada; las redes viales Departamentales PA-102 (desde Yanahuanca a Pasco), PA-100 (desde el desvío Uchumarca hasta Pasco), PA-103 (desde Yanahuanca hasta

el desvío Antapaca) y múltiples variantes y ramales de las redes viales vecinales registradas y no registradas (afirmadas y no asfaltadas) que unen a casi todos los localidades de la provincia.

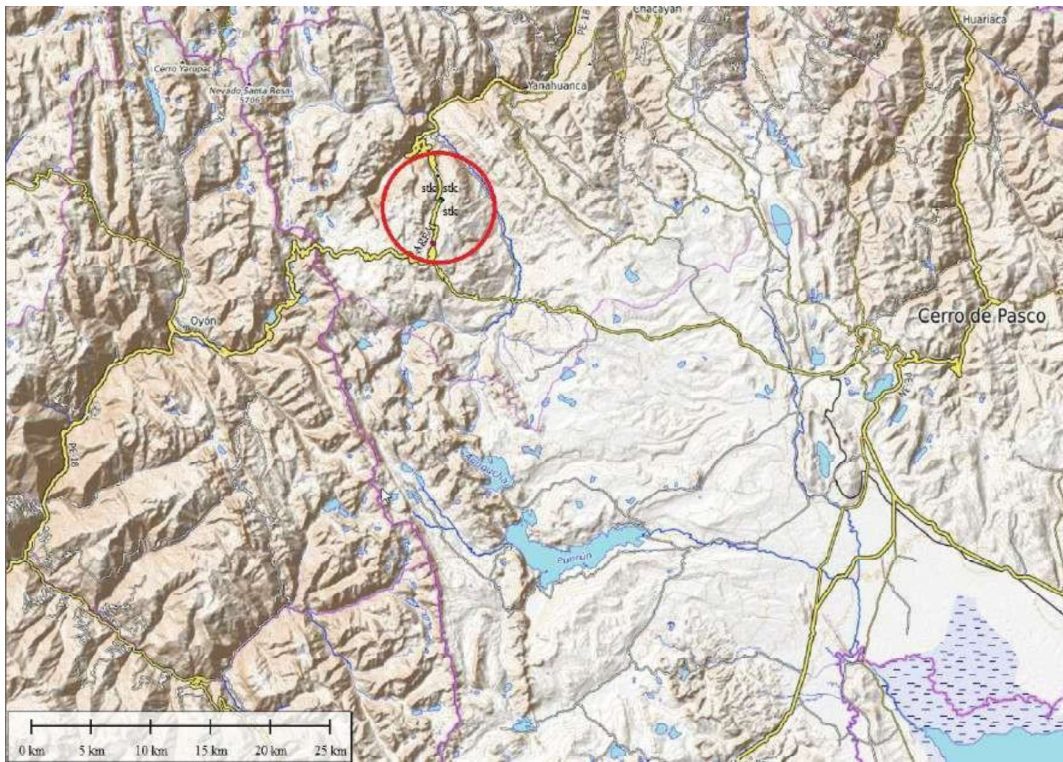


Figura 01. Mapa de Ubicación del estudio Geofísica

1.3 GEOGRAFIA

Yanahuanca, enclavado en la zona andina, cuyo mayor número de distritos corresponde a la quebrada de Chaupihuaranga, con pocos recursos hídricos y cultivos que, generalmente depende de la madre naturaleza, cuenta con una rica y prolífera historia, diversidad de formas de vida y una variada ecología y geografía. La Provincia de Daniel Alcides Carrión está situada en la parte nor occidental del departamento del Pasco. La provincia tiene una extensión de 1,887.23 kilómetros cuadrados. El distrito de Yanahuanca, tiene una superficie aproximada de 818,32 km². Yanahuanca, es una ciudad poseedora de un excelente clima templado, benigno y acogedor; con temperaturas media mínima anual que van desde los 10°C (meses de enero y febrero) hasta los 24°C (las temperaturas máximas se registran en los meses de junio y julio); es decir, es variado desde la quechua hasta la Janca.

1.4 FLORA Y FAUNA

Los pisos ecológicos se dividen en 3 zonas. En la parte baja se producen árboles frutales y frutas como la tuna, granadilla, manzana, plátano, paltas, etc. En la parte media el cultivo de planta es domesticada, entre ellas papas, hortalizas, maíz, trigo, oca, yacón, entre otros. En las zonas baja y media de la provincia, la presencia de árboles de eucaliptos es abundante. En mayor variedad se encuentra el Ichu, planta que sirve como forraje para los animales y también como combustible después de su secado.

En las altas punas hay gramíneas y pequeños rodales de queñuales (*Polylepis incana*), pinos e incluso alisos. Alrededor de los 4.000 metros, están los árboles de quiñual o queñual que son restos de antiguos bosques de altura. Entre las gramíneas predominan el ichu (*Stipa Ichu*) y la chilligua (*Festuca dolichophylla*). Sobre los 5.200 metros crece, además de algunos musgos y líquenes y la yareta (*Azorella compacta*).

Habitan el venado gris de los Andes (*Odocoileus peruvianus*), la vizcacha (*Lagidium peruvianum*), el cóndor (*Vultur gryphus*), la taruca (*Hippocamelus antisensis*), el cuy salvaje (*Cavia cobaya*) y otros; además viven camélidos como llamas (*Lama glama*) y vicuñas (*Vicugna vicugna*); otras especies de los altiplanos son el gato montés, el zorrino, el gallinazo y diversas aves de la familia de las perdices.

En las zonas baja, media y alta los campesinos de Yanahuanca se dedican a la crianza de los animales menores como cuyes, conejos y aves de corral; así como de ganado ovino, vacuno, camélido, porcino, caprino y equino.

1.5 HIDROLOGIA

El drenaje de la zona en estudio esta constituido por numerosas quebradas que vierten sus aguas al rio Yanahuanca, el cual constituye los colectores naturales principales de la zona, formando un drenaje de tipo radial y longitudinal, pertenecientes a la vertiente del atlántico.

El rio Chaupihuaranga desde sus nacientes hasta la intersección con otros riachuelos, son afluentes del rio Huallaga, ofreciendo un pendiente promedio variable de 3.8% en su parte baja, la cual se hace mas pronunciada en su parte alta, perteneciente a la zona húmeda de su cuenca.

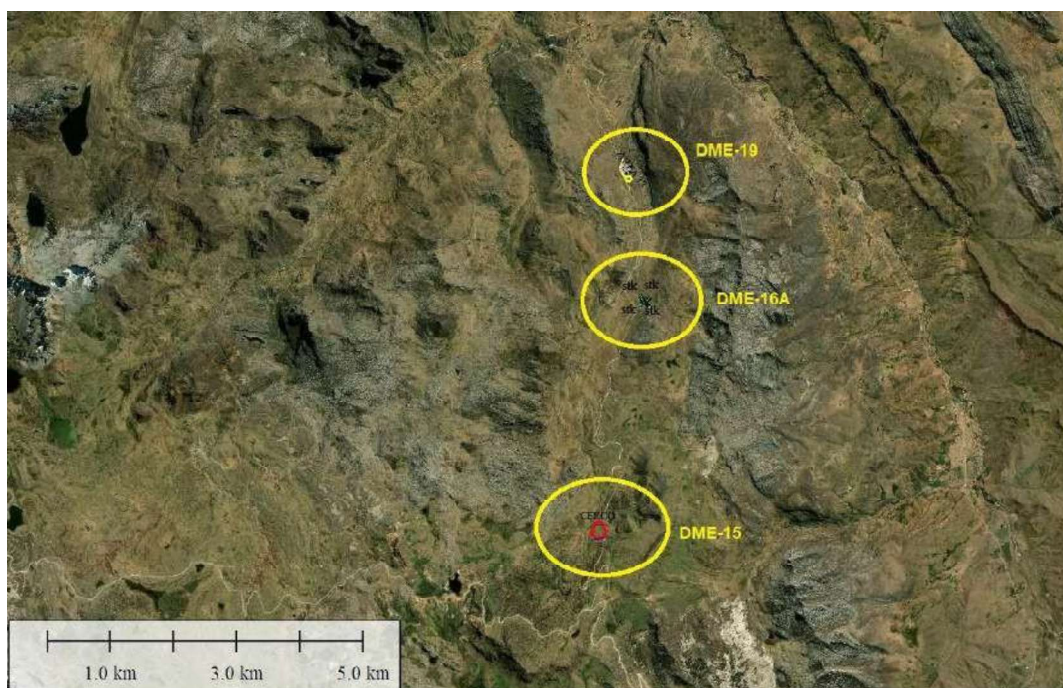


Figura 02. Mapa de Ubicación de Los tres Botaderos

1.6 GEOLOGIA REGIONAL

El área de estudio se localiza en el flanco Este de la Cordillera Occidental de los Andes, a una altitud de 4600 metros sobre el nivel del mar. Las Unidades litoestratigráficas que afloran en la región están constituidos por rocas sedimentarias de ambiente terrestre de tipo “molásico” conocidos como “Capas Rojas”, rocas volcánicas andesíticas y dacíticas con plutones hipabisales. En la región abunda las “Capas Rojas” pertenecientes al Grupo Casapalca que se encuentra ampliamente distribuida a lo largo de la Cordillera Occidental desde la divisoria continental hacia el este y está constituido por areniscas, arcillitas y margas de coloración rojiza ó verde en estratos delgados con algunos lechos de conglomerados y esporádicos horizontes lenticulares de calizas grises, se estima un grosor de 2385 metros, datan al cretáceo superior terciario inferior (Eoceno). En forma discordante a las “Capas Rojas” y otras unidades litológicas del cretáceo se tiene una secuencia de rocas volcánicas con grosores variables constituido por una serie de 12 derrames lávicos y piroclastos mayormente andesíticos, dacíticos y riolíticos pertenecientes al Grupo Calipuy que a menudo muestran una pseudoestratificación subhorizontal en forma de bancos medianos a gruesos con colores variados de gris, verde y morados. Localmente tienen intercalaciones de areniscas, lutitas y calizas muy silicificadas que podrían corresponder a una inter-digitación con algunos horizontes del Grupo Casapalca. Datan al cretáceo superior-terciario inferior (Mioceno). Regionalmente ocurre una peneplanización y depósitos de rocas volcánicas ácidas tipo “ignimbritas” tobas y aglomerados de composición riolítica que posteriormente han dado lugar a figuras

“caprichosas” producto de una “meteorización diferencial” conocida como “Bosque de Piedras” datan al plioceno.

Completan el marco geológico-geomorfológico una posterior erosión glaciaria en el pleistoceno que fue muy importante en la región siendo el rasgo más elocuente de la actividad glaciaria la creación de grandes cantidades de lagunas. La estructura mayor y más importante corresponde a un anticlinal asimétrico, que se orienta al N 25° W. El anticlinal está conformado por sedimentos continentales del Cretáceo Superior al Terciario (“Capas Rojas Casapalca”), los cuales fueron plegados y fallados por la intensa actividad tectónica del Eoceno-Plioceno, cuya resultante, orientado al N65°E y hacia arriba fue aplicada en la parte central del distrito. El relajamiento de las fuerzas tectónicas compresionales pre-intrusivas y la acción de rebote elástico concentrado a lo largo de las zonas axiales longitudinal y transversal, originaron zonas de debilidad a lo largo de las cuales se produjeron rupturas en el anticlinal, que posteriormente sirvieron de canales de circulación de fluidos ígneos “monzoníticos-cuarcíferos” y se formaron diques axiales longitudinales y transversales. Una reactivación tectónica post-intrusiva intensificó los esfuerzos compresionales de acción dómica y originó el fracturamiento pre-mineral transversal E-W, el longitudinal N-S y el movimiento “horstico” de la parte central del distrito.

CUATERNARIO

DEPOSITOS ALUVIALES

Se encuentran distribuidos en las partes bajas del área de estudio, generalmente por debajo de los 4000m.s.n.m., están constituidos por una serie de capas de grava gruesa y fina con cierta clasificación y elementos redondeados a sub redondeados, asociados en capas de arena, limo, están conformando típicos conos aluviales de variada amplitud.

DEPOSITOS MORREICOS

Estos depósitos se han originado por la glaciación que se ha producido en el Pleistoceno sobre los 3800m.s.n.m., se presentan a manera de lomadas constituidos por bloques, gravas, arena y limo con una matriz areno-limosa pobremente clasificados, en el fondo de los valles así como en sus laderas se han depositado estos materiales formando lagos por fusión del hielo detrás de las 24 morrenas terminales, la ablación ha formado valles forma de U, circos glaciares, picos altos angulosos como consecuencia de la acción del hielo durante la glaciación hasta la actualidad.

TERCIARIO

VOLCANICO CALLIPUY

Esta secuencia volcánica se encuentra encima de la formación Casapalca en discordancia, su deposición ha sucedido posteriormente al plegamiento, erosión y levantamiento que afectaron a la formación Casapalca,

culminando finalmente en una superficie de erosión muy amplia, existiendo una variación lateral bastante rápida.

Está constituida de una serie de rocas piroclásticas gruesas, lavas ácidas e ignimbritas de composición dacítica, que puede variar a lavas de composición andesítica, piroclastos gruesos, tufos finamente estratificados, basaltos, riolitas y dacitas. Donde la parte superior del volcánico Calipuy es más ácida que la parte inferior.

De acuerdo a evidencias de dataciones radiométricas por el método K-Ar, el Grupo Calipuy se extiende desde el Eoceno hasta el Mioceno, el plegamiento de los estratos subyacentes y el desarrollo de la superficie de erosión se llevó a cabo durante el Paleoceno, por lo que finalmente se le considera del Paleógeno: Eoceno Superior Tardío- Neógeno: Mioceno.

CRETACICO

FORMACION JUMASHA

Consiste de calizas gris a gris parduscas masivas, en bancos medios a gruesos, muy resistentes a la erosión.

FORMACION PARIATAMBO

Calizas y margas bituminosas de color negro con intercalaciones de calizas oscuras tabulares que se rompen a manera de lajas.

FORMACION CHULEC

constituida por calizas grises en capas medianas a delgadas con intercalaciones de calizas margosas y margas de color pardo grisáceo.

2.0 REFRACCION SISMICA

2.0 METODO DE REFRACCION SISMICA

Este método mide el tiempo de propagación y de viaje de las ondas sísmicas que viajan desde el lugar de impacto. En este lugar de impacto se generan estas ondas sísmicas que llegaran a un sensor llamado geófono que está ubicado sobre la línea a una determinada distancia. Para esto se dispone de una serie de **sensores** en línea recta y a distancias conocidas, formando lo que se conoce como **tendido sísmico** o **línea de refracción**.

A intervalos regulares se han generado impactos o golpes de comba donde se han generado las ondas sísmicas que han sido registradas por los sensores o geófonos ubicados a lo largo de cada línea sísmica.

A continuación, se muestra tres perfiles con los tres tipos de ondas que se generan en un estudio de refracción sísmica.

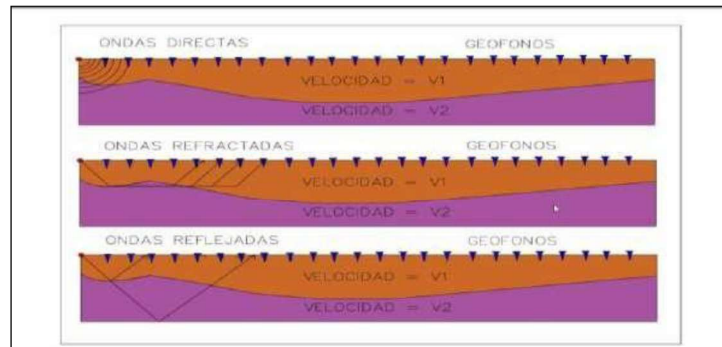


Figura 03. Tipos de ondas generadas con un disparo

2.1 LEY DE REFRACCIÓN

La ley de refracción dice que el seno del ángulo incidente es al seno del ángulo de refracción como la velocidad de la onda incidente es a la velocidad de la correspondiente onda refractada.

$$\frac{\sin \theta_1}{\sin \theta_2} = \frac{V_1}{V_2}$$

Para explicar la trayectoria de las ondas en el método de la Refracción sísmica, consideremos un medio, con velocidad V_1 , que supra yace un medio semi infinito, con velocidad V_2 , mayor que V_1 (Figura 03). Una vez que se han generado las ondas en el punto de disparo, éstas empiezan a viajar por el medio superior conformando frentes de onda en el espacio.

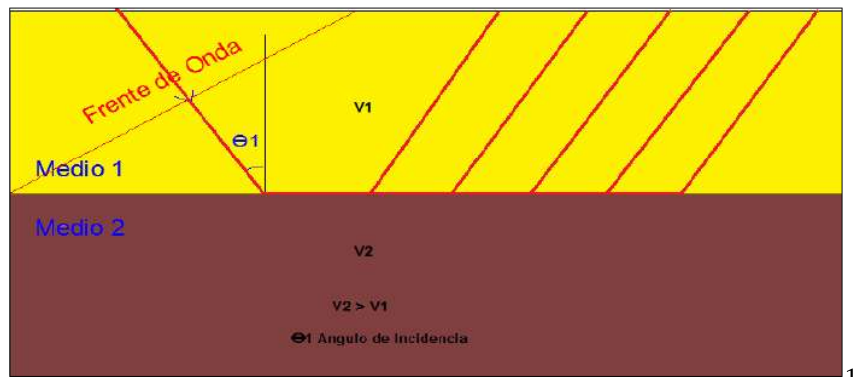


Figura 04. Ley de Refracción

3.0 METODOLOGIA APLICADA

3.0 TRABAJO DE CAMPO

El estudio sísmico se registró desde 9 al 11 de octubre del 2019. Diariamente se hizo el chequeo de la calidad de los datos registrados y en la noche se generó los perfiles correspondientes para su verificación. Diariamente se coordinó con el supervisor, el Ingeniero William Segovia sobre la programación de las líneas a registrar. Se respetó los horarios de trabajo del personal de campo y se respetó una hora de almuerzo al medio día para el personal de campo. Seguidamente se adjunta una tabla con las fechas de registro y la ubicación de las zonas donde se registraron las líneas sísmicas.

Días	Ubicación de los sondajes	Zona
09-Oct	Líneas de Refracción y MASW-1D	DME-19
10-Oct	Líneas de Refracción y MASW-1D	DME-16A
11-Oct	Líneas de Refracción y MASW-1D	DME-15

Tabla 01. Programa de registro sísmico

La buena calidad de los datos registrados nos ha permitido obtener perfiles de buena resolución que reflejan la profundidad de la zona de contacto suelo vs roca en cada perfil. El tipo de fuente sísmica utilizada fue a través de un golpe sobre un plato de acero con una comba de 200 libras. Por la sensibilidad de los geófonos siempre se registró ruido externo a una distancia de 50 metros. Por lo tanto, para evitar este efecto se registró hasta 15 veces el mismo punto y mediante la opción STACKING se hizo la suma para obtener un registro promedio. Esta opción de STACKING permite eliminar el ruido aleatorio por la opción de diferencia de fase al momento de la suma.

El equipo básico que se utilizó consistió en 24 sensores o geófonos, un sismógrafo de registro marca GEODE, en donde se almacenaron los datos registrados, los cables de conexión entre los sensores y el cable del disparo. Se utilizaron radios portátiles para una comunicación interna y permanente y así poder coordinar con el grupo de sísmica los tiempos de registro.

Como indica la norma ASTM D5777 la fuente de energía sísmica ha sido una comba que ha sido utilizada para generar las ondas sísmicas que han viajado por todo el medio elástico. Además, se ha utilizado un cable sísmico de activación, geófonos, cable de geófono y un sismógrafo o también llamado registrador sísmico.

Los geófonos y la fuente sísmica se han colocado en contacto firme con el suelo o la roca. Los geófonos se han ubicado en una línea recta y se ha mantenido la longitud de las líneas 3 veces la profundidad objetivo. Los geófonos han convertido las vibraciones del suelo en una señal eléctrica.

Esta señal eléctrica ha sido grabada y procesada por el sismógrafo. El tiempo de viaje de la onda sísmica (desde la fuente hasta el geófono) se ha determinado a partir de la forma de onda sísmica.

La fuente de energía sísmica ha generado ondas elásticas que han viajado a través del suelo o roca desde la fuente. Cuando la onda sísmica ha alcanzado la interfaz entre dos materiales de diferentes velocidades sísmicas, las ondas se han refractado de acuerdo con la Ley de Snell. Cuando el ángulo de incidencia es igual al ángulo crítico en la interfaz, la onda refractada se mueve a lo largo de la interfaz entre dos materiales, transmitiendo energía de regreso a la superficie. Esta interfaz se conoce como un refractor.

Una fuente de energía sísmica produce varias ondas elásticas. Debido a que la onda P compresiva tiene la velocidad sísmica más alta y es la primera onda que llega a cada geófono.

Los tiempos de viaje se trazan en función de la distancia entre la fuente y el geófono para hacer una gráfica de distancia y de tiempo.

El tiempo de viaje de la onda sísmica entre la fuente de energía sísmica y un geófono (s) es una función de la distancia entre ellos, la profundidad del refractor y las velocidades sísmicas de los materiales a través de los cuales pasa la onda.

La profundidad a un refractor se calcula utilizando la fuente a la geometría del geófono (espaciado y elevación), determinando las velocidades sísmicas aparentes (que son los recíprocos de las pendientes de las líneas trazadas en la gráfica de distancia de tiempo) y el tiempo de intercepción o distancias de cruce en la gráfica de distancia de tiempo.

Las fórmulas de tiempo de intercepción y distancia-profundidad de cruce se han derivado internamente. Estas derivaciones son directas en la medida en que se mide el tiempo de viaje de la onda sísmica, la velocidad en cada capa se calcula a partir de la gráfica de tiempo-distancia, y se conoce la geometría del recorrido de rayos.

3.1 REGISTRO SISMICO

En el registro sísmico siguiente tomado como modelo se pueden observar los datos registrados de campo, en este grafico se observan varios tipos de eventos, tales como reflexiones simples y refracciones. Se aprecia la onda directa con una velocidad de 1775 m/s y una onda refractada con una velocidad de 2695 m/s.

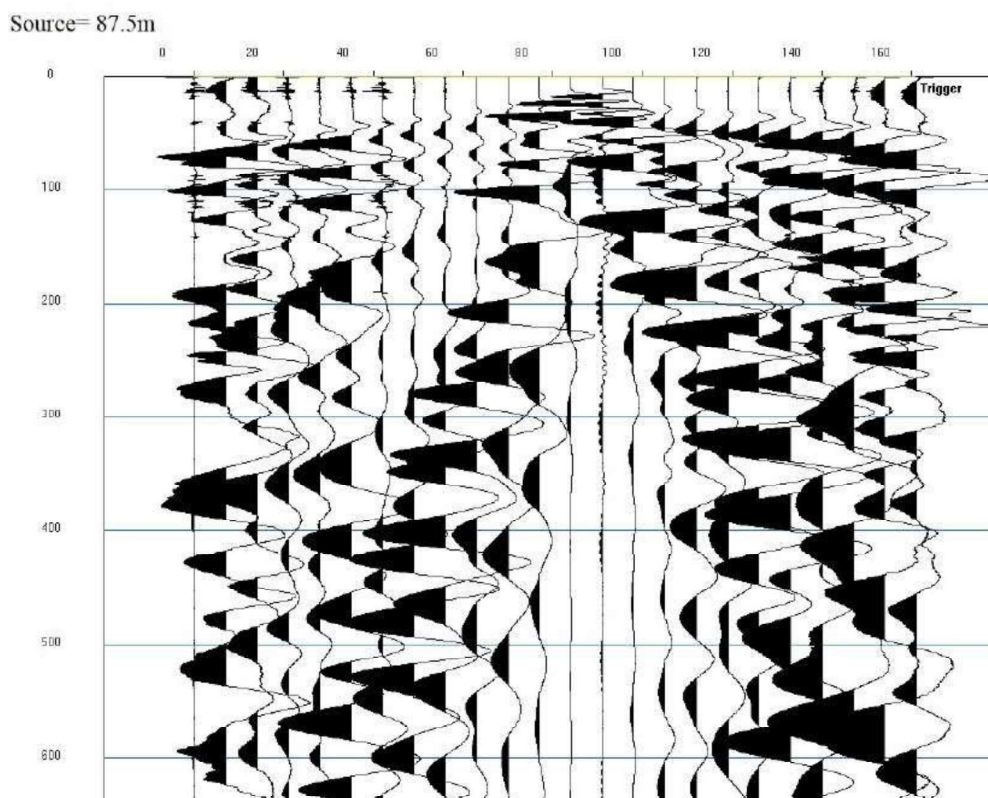


Figura 05. Registro sísmico

3.2 PARÁMETROS DE REGISTRO SISMICO

Los parámetros de registro que se utilizaron en el programa sísmico fueron los siguientes:

Mediciones	:	Tiempo de Llegada
Geófonos verticales	:	24 unidades
Intervalo entre geófonos	:	10 y 7 m
Ganancia de Pre-amplificación	:	24 dB.
Filtros	:	Fuera
Intervalo de muestreo	:	0.25 ms
Longitud de Registro	:	500 ms
Batería	:	2 unidades
Fuente sísmica	:	Percusión
Cantidad de golpes	:	15 golpes por punto
Formato de Grabación	:	SEG 2
Intervalo de Fuentes	:	Dependiendo del Intervalo
Tipo de Geófono	:	GS-32CT

Tabla 02, Parámetros de registro sísmico

3.3 EQUIPO SÍSMICO: GEODE

En el registro de campo se utilizó un sismógrafo de última generación modelo GEODE, fabricado por la Empresa GEOMETRICS, el cual cuenta con 24 canales de registro de ondas de llegada, y de 24 bits de resolución, 24 geófonos de 4.5 Hertz, cables sísmicos y cables de sincronización con la generación de la onda.



Figura 06. Equipo de registro GEODE

Características	Valor nominal
Modelo	GEODE
Nº de Canales	24
Resistencia de Salida	> 600 ohmios
Rango de Frecuencia	4.5 - 400 Hz
Filtro de Frecuencias	10, 15, 25, 35, 50, 70, 100, 140 Hz.
Ganancia	De 24 o 36 DB.
Intervalo de Muestra	0.125, 0.25, 0.5, 1, 2, 4, 16 ms.
Tiempo de Retardo de Registro	0-999 ms. en pasos de 1 ms.
Tiempo de Pre-arranque	90% duración general
Tensión de Alimentación	12 V
Potencia de Consumo	26 W

Tabla 03. Características del equipo GEODE

Seguidamente mostramos los sensores o geófonos utilizados en el estudio sísmico que son de 4.5 Hertz marca GEOSPACE.



Figura 07. Geofonos de 4.5 hertz utilizados en el estudio

3.4 PERSONAL QUE PARTICIPO EN EL ESTUDIO

La toma de datos y control de calidad fueron realizadas por el Geofísico Ricardo Peláez y el Geofísico Ismael Mamani Chino.

Asimismo, se contó con personal de campo que fue suministrado por el consorcio. En total fueron 9 personas entre personal técnico, de campo y un conductor que participaron en el estudio geofísico.



Figura 08. Personal técnico trabajando en campo

Primer Apellido	Segundo Apellido	Nombre	Función
Peláez	Mc Evoy	Ricardo Fabián	Geofísico Sénior
Mamani	Chino	Ismael	Geofísico

Tabla 04: Personal técnico y de labor participante del estudio

3.5 UBICACIÓN DE LINEAS SISMICAS EN CAMPO

El levantamiento topográfico fue realizado por el departamento de topografía que pertenece al consorcio Supervisor Oyón – Chacayán. Este levantamiento se realizó en las 2 líneas de refracción que se registraron en cada uno de los tres sectores. La primera línea tuvo un intervalo de sensores cada 10 metros y la denominamos línea longitudinal. La segunda línea tuvo un intervalo de sensores cada 7 metros y tiene una dirección transversal a la primera.

Línea longitudinal RF-05: Fue la primera línea registrada en el sector DME-15.

Línea transversal RF-06: Fue la segunda línea en registrarse, esta ubicada en el sector DME-15.

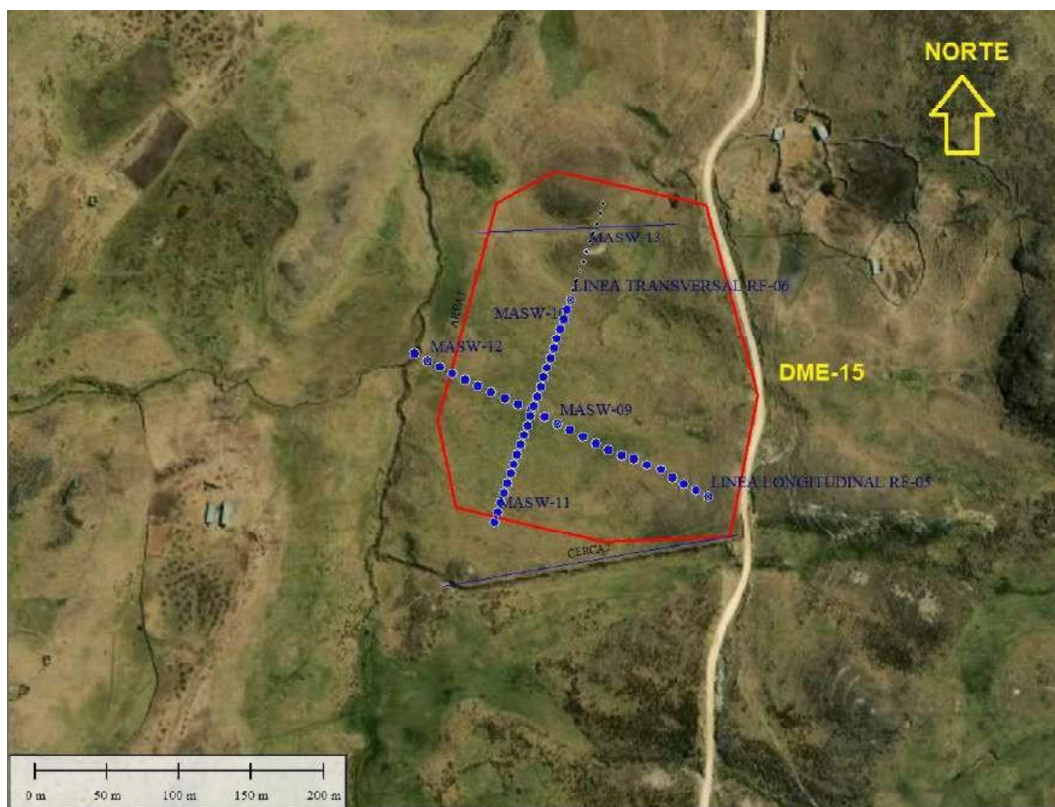


Figura 09. Ubicación de las líneas sísmicas RF-05 y RF-06

Seguidamente se adjunta una tabla con las coordenadas y elevaciones de cada una de las líneas de refracción sísmica.

COORDENADAS DE PUNTOS GEOFISICOS				
DME 183+450				
Nº	CODIGO	COORDENADAS		COTA
		ESTE	NORTE	
01	S1	326409.861	8827227.609	4369.219
02	S1	326409.862	8827227.620	4368.233
03	S2	326418.585	8827223.001	4369.215
04	S3	326427.006	8827218.670	4371.952
05	S4	326435.530	8827214.083	4374.802
06	S5	326444.253	8827209.900	4376.589
07	S6	326453.007	8827205.654	4378.250
08	S7	326461.931	8827201.441	4379.614
09	S8	326471.270	8827197.537	4381.012
10	S9	326480.100	8827193.196	4381.323
11	S10	326489.266	8827189.373	4382.271
12	S11	326498.320	8827184.965	4382.572
13	S12	326507.223	8827180.333	4382.704
14	S13	326515.688	8827175.798	4382.614
15	S14	326524.788	8827170.982	4383.044
16	S15	326533.592	8827166.496	4384.659
17	S16	326542.059	8827162.191	4387.233
18	S17	326550.687	8827158.465	4389.096
19	S18	326559.354	8827156.066	4391.110
20	S19	326568.153	8827152.130	4395.042
21	S20	326577.514	8827149.180	4395.930
22	S21	326585.342	8827143.451	4400.832
23	S22	326593.158	8827138.803	4404.960
24	S23	326601.642	8827134.995	4408.635
25	S24	326609.717	8827130.610	4412.549
26	M1	326464.537	8827112.436	4385.383
27	M2	326466.770	8827119.086	4385.180
28	M3	326468.912	8827125.803	4384.596
29	M4	326471.164	8827132.386	4384.455
30	M5	326473.365	8827139.044	4384.431
31	M6	326475.570	8827145.683	4384.053
32	M7	326477.789	8827152.271	4383.860
33	M8	326480.018	8827158.946	4383.774
34	M9	326482.198	8827165.580	4383.817
35	M10	326484.417	8827172.186	4383.695
36	M11	326486.665	8827178.892	4383.238
37	M12	326488.884	8827185.464	4382.648
38	M13	326491.052	8827192.135	4382.058
39	M14	326493.215	8827198.726	4381.421
40	M15	326495.480	8827205.388	4380.945
41	M16	326497.667	8827212.019	4380.556
42	M17	326499.878	8827218.668	4380.270
43	M18	326502.078	8827225.320	4379.965
44	M19	326504.290	8827231.951	4379.382
45	M20	326506.524	8827238.587	4379.302
46	M21	326508.866	8827245.160	4379.887
47	M22	326510.949	8827251.758	4380.951
48	M23	326513.156	8827258.281	4381.808
49	M24	326515.413	8827265.001	4382.303

Tabla 05: Coordenadas y elevaciones de las líneas sísmicas.

4.0 PROCESAMIENTO DE DATOS

4.0 SECUENCIA DE PROCESAMIENTO

La secuencia para el procesamiento de datos sísmicos fue el siguiente:

- 1) Lectura de los datos de campo.
- 2) Control de calidad de los datos
- 3) Asignación de geometría a las líneas de refracción.
- 4) Modelamiento del refractor en el área de estudio.
- 5) Inversión sísmica.
- 6) Interpretación sísmica
- 7) Generación de mapas, perfiles e imágenes.

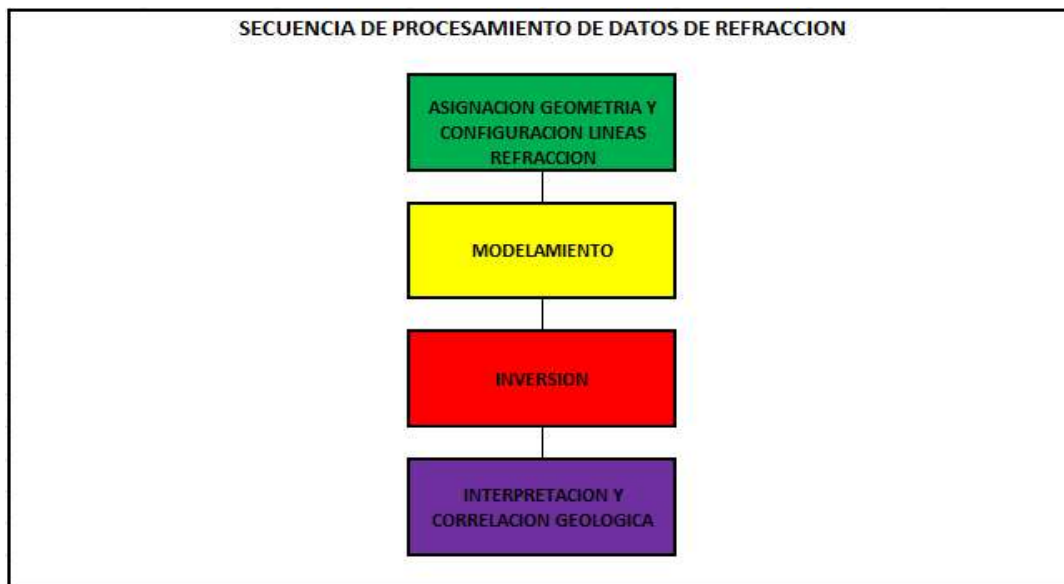


Figura 10. Secuencia de procesamiento de datos sísmicos de refracción

4.1 PERFILES DE REFRACCION SISMICA

Seguidamente presentamos los perfiles de refracción sísmica obtenidos en el procesamiento de los datos y que corresponden a la zona de estudio. En cada perfil se puede observar la zona de contacto entre el suelo y la roca. La capa de suelo en la mayoría de los perfiles tiene un espesor de 20 metros y presenta una velocidad promedio en superficie de 1850 m/s. Mientras que la capa de roca más competente presenta una velocidad mayor a los 4200 m/s. Todos los perfiles de refracción sísmica fueron procesados en el dominio de la velocidad de la onda P, u onda Primaria.

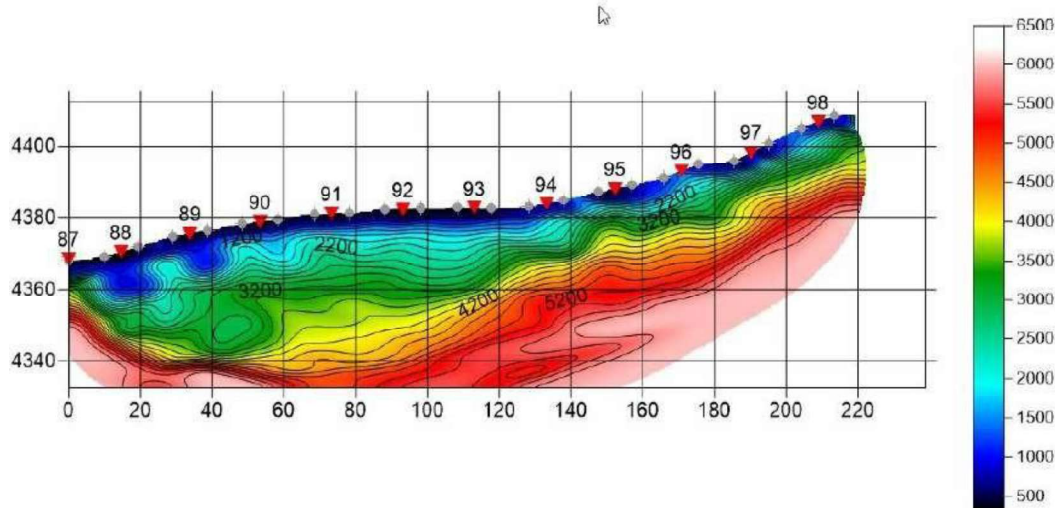


Figura 11. Perfil de refraccion sismica RF-05

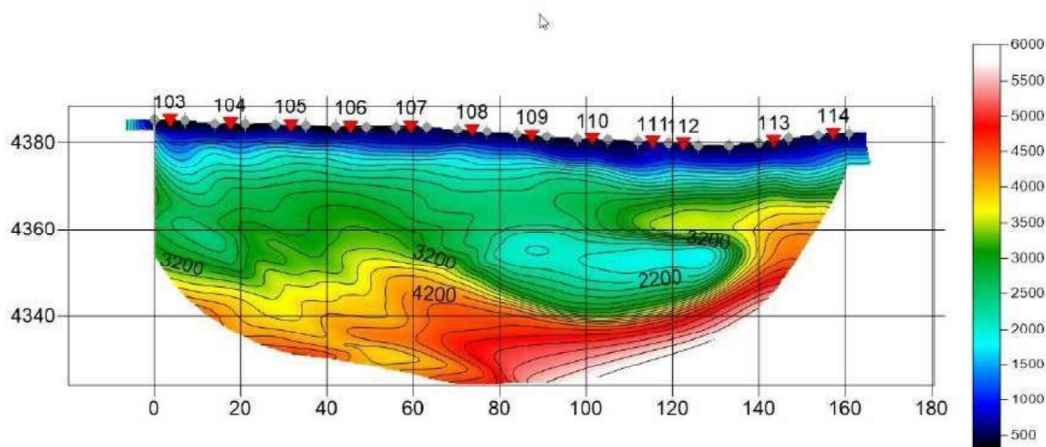


Figura 12. Perfil de refraccion sismica RF-06

4.2 INTERPRETACION DE RESULTADOS

Mediante el método sísmico de refracción se han obtenido los perfiles que están adjuntos en la primera parte. Estos perfiles sísmicos han sido generados utilizando los tiempos de llegada de la onda P a cada uno de los sensores sísmicos. Aunque la velocidad de la onda P es un buen indicador del tipo de suelo o roca, no es un único indicador. La siguiente Tabla 06 muestra los rangos de velocidad para la onda P y S para algunos tipos de roca y sedimentos tomados como referencia en este estudio, se observa un amplio rango de velocidades y muchos de estos rangos se superponen.

DESCRIPCION	VP (m/s)	VS (m/s)
Suelo Intemperado	180-450	
Arena seca, Grava	500-1000	
Arena Saturada	1220-1830	
Arcilla	500-2200	
Arcilla Saturada	910-2750	
Till	1500-2200	
Arenisca	1900-4900	2150
Lutita	1600-4100	
Caliza sana	1900-5500	2800
Dolomita	4900-7100	3960

Tabla 06. Velocidades de onda P y S (Sydney P. Clark, Jr. (Ed.). Handbook of Physical Constants, Rev. Ed., Geol Soc Am. Mem. 97, 1966.

Una de las características importantes en las velocidades de la onda P es que generalmente estas velocidades son mayores para los siguientes materiales y en las siguientes circunstancias:

- Las rocas más densas que en las más ligeras
- las rocas más antiguas que las rocas más jóvenes
- Las rocas ígneas que las rocas sedimentarias
- las rocas masivas que las rocas con grietas o fracturas
- Las rocas frescas que las rocas meteorizadas y erosionadas
- Los sedimentos consolidados que los sedimentos no consolidados
- Los sedimentos no consolidados saturados de agua que los sedimentos no consolidados y secos
- Los suelos húmedos que los suelos secos.

La diferencia entre la meteorización física o mecánica es que mientras la erosión implica movimiento. Por ejemplo, el arrastre de sedimentos de un río. La meteorización no implica movimiento, por lo tanto, se produce en el lugar.

Otros de los aspectos muy importantes que queremos aclarar es que en los registros sísmicos se han grabado todos los tipos de ondas tanto corpóreas como las superficiales. En el caso de las ondas corpóreas nos estamos refiriendo a las ondas P y las ondas S. Por lo tanto, vamos a utilizar e identificar y cuantificar las ondas S en cada registro sísmico y esto se utilizará para cada línea sísmica.

Seguidamente aplicaremos la técnica de análisis multicanal de ondas superficiales también conocida como MASW-1D (MASW, Park et al., 1999), que es un método no destructivo y que analiza las propiedades de dispersión de las ondas sísmicas superficiales (modos fundamentales de ondas

RAYLEIGH), las cuales se propagan horizontalmente a lo largo de la superficie desde el punto de impacto a los receptores. Esta técnica MASW nos proporcionó las velocidades de las ondas de corte (V_s) y los espesores en formatos 1-D en los 4 MASW registrados que corresponden a este estudio en esta zona.

A continuación, presentamos el flujo que se utilizó para determinar los rangos de velocidad de las ondas S y la caracterización en cada sector.

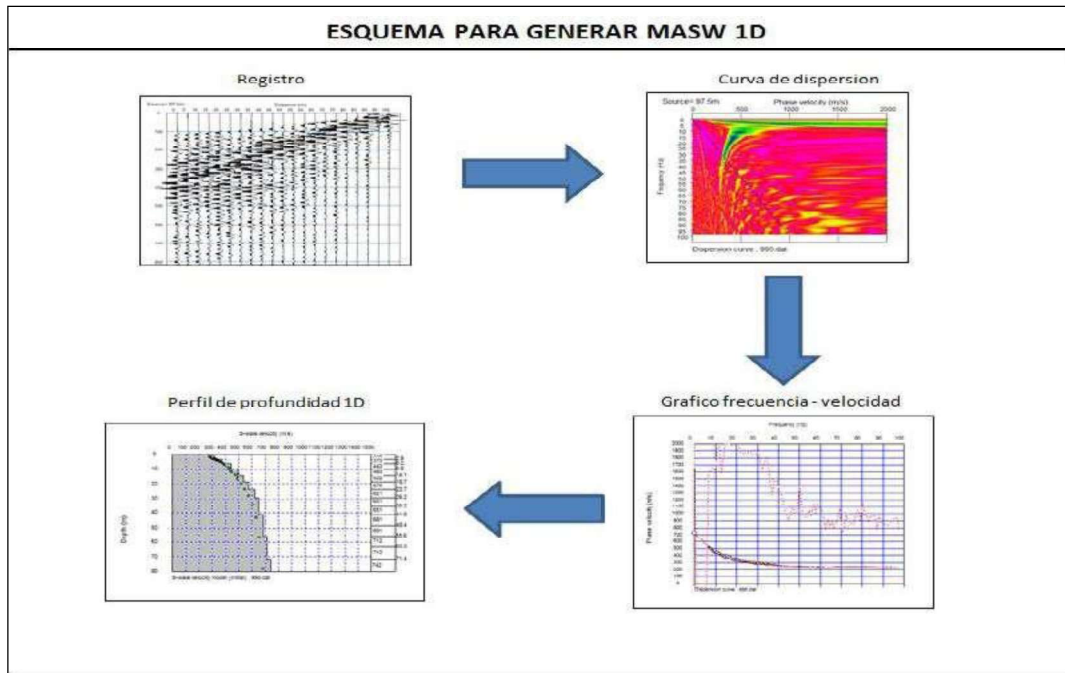


Figura 13. Secuencia del flujo para determinar la velocidad de onda S.

Se registraron 4 MASW que se distribuyeron en el area del DME-15. A continuacion presentamos los diagramas y resultados en el anexo. Tambien se realizo una prueba adicional denominada como MASW-13 donde se determino la profundidad de la zona de contacto suelo vs roca a una profundidad de 18 metros.

5.0 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- De los 2 perfiles de refracción sísmica se puede observar claramente la profundidad de la zona de contacto entre la capa de suelo y la roca.
- Se ha verificado las profundidades del contacto suelo vs roca utilizando la velocidad de la onda S y se ha calibrado con las calicatas realizadas cerca de las líneas sísmicas.
- Las tablas tomadas como referencia según la norma NEHRP (National Earthquake Hazard Reduction Program), indican que cuando las velocidades de la onda S son mayores a los 760 m/s corresponde a una roca levemente fracturada.
- Para los perfiles ubicado en el sector DME-15 hemos encontrado que la profundidad del suelo con la roca está en el orden de los 8 metros de profundidad como promedio. Esto ha sido corroborado con la velocidad de la onda S que se adjunta en el reporte final.
- Podemos indicar que los objetivos iniciales para determinar la zona de contacto suelo vs roca se han conseguido con este estudio, asimismo se ha podido determinar la configuración geológica en profundidad considerando las velocidades de las ondas P y ondas S.
- En casi todos los perfiles sísmicos se ha conseguido llegar a profundidades mayores de 40 metros solicitados en los términos de referencia, por lo tanto, esto ayudara al grupo de geotecnia en la caracterización en la zona de estudio.
- Los perfiles sísmicos de refracción se han procesado mediante la tomografía iconográfica de rayos y eso nos ha permitido obtener un perfil con mayor información en profundidad, sobre todo identificar zona de inversión de velocidad producto de zonas de infiltración y alteración.
- La profundidad de la roca masiva competente esta a unos 13 metros como promedio y presenta una velocidad de 4300 m/s.

6.0 BIBLIOGRAFIA

Aki K., Richards P.G., (1980) "Quantitative Seismology: Theory and Methods" Freeman, S. Francisco, 2 vol.

Armstrong M., (2008) "Multichannel Analysis of Surface Waves (MASW) determined surface-wave velocity profile and its relation to observations of the near-surface polar firm layer" GCAS 2008/09

Asten M.W., and Boore D.M. (2005) "Comparison of Shear-Velocity Profiles of Unconsolidated Sediments near the Coyote Borehole (CCOC) Measured with Fourteen Invasive and Non- Invasive Methods".

Bilberto Zavala Carreon, Segundo Nuñez Juarez, Estudio Geológico y Geotécnico de la Región Suroccidental del Perú, 1999)

Foti S., (2000) "Multistation Methods for Geotechnical Characterization using Surface Waves" Dottorato di Ricerca in Ingegneria Geotecnica (XII ciclo), Politecnico di Torino.

Hunter J.A., Crow H.L, (2012) "Shear Wave Velocity Measurement Guidelines for Canadian Seismic Site Characterization in Soil and Rock" GEOLOGICAL SURVEY OF CANADA OPEN FILE 7078.

Park, Richard D. Miller, and Hidetoshi Miura "Optimum Field Parameters of an MASW Survey" Kansas Geological Survey

Park, C. B., Xia, J., and Miller, R. D., (1998), "Imaging dispersion curves of surface waves on multichannel record" 68th Ann. Internat. Mtg., Soc. Expl. Geophys., Expanded Abstracts, 1377-1380.

Park, C.B., Miller, R.D., and Xia, J., (1999), "Multichannel analysis of surface waves (MASW)" Geophysics, 64, 800-808.

Orellana, Ernesto. 1982. Prospección Geoelectrica en corriente continúa. Madrid, España. Panissod, C.;

Telford, W et al. 1996. "Applied Geophysics". Cambridge University Press, New York.

7.0 ANEXOS

PERFILES DE REFRACCION SISMICA

MASW-1D

MASW-09

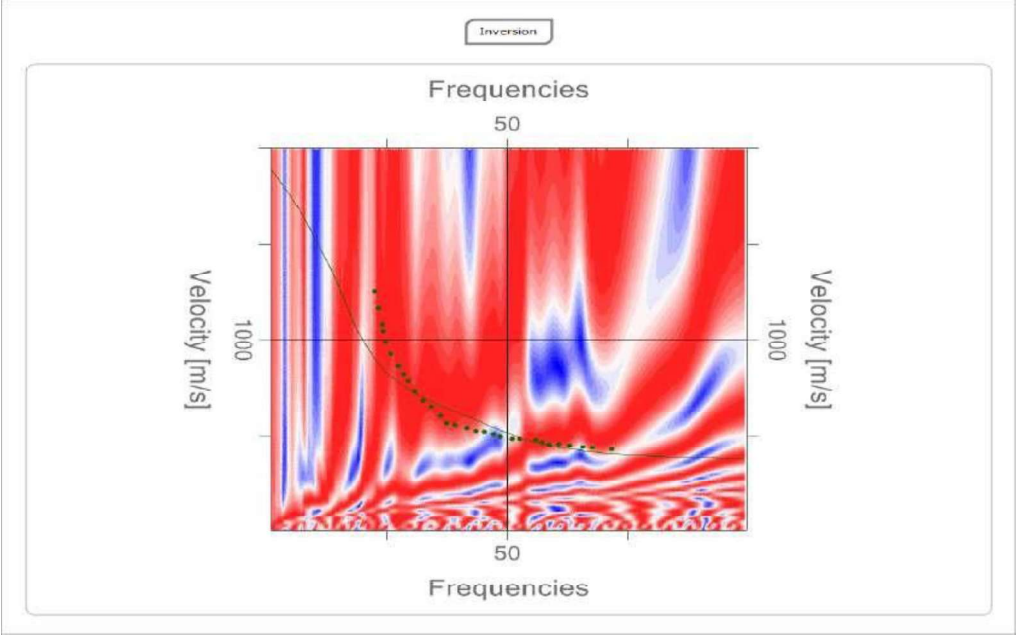


Figura 16., Curva Dispersiva

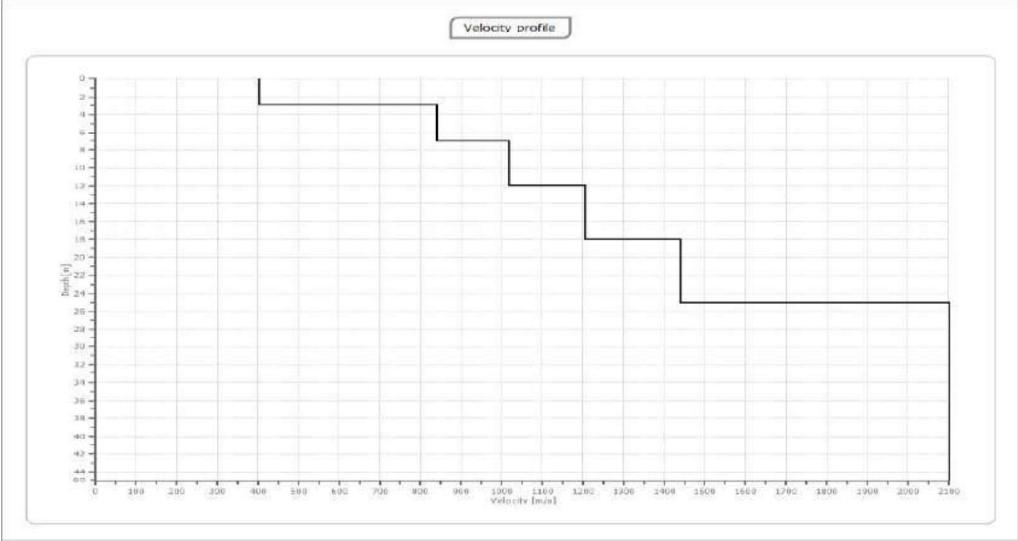


Figura 17. Perfil onda S

PARAMETROS SEUDODINAMICOS MASW-09											
Profundidad de	Espesor de	Velocidad	Velocidad	Relacion de Poisson	Densidad Estimada	TIPO SUELO		Modulo Corte o Rigidez	Modulo Young o Elastico	Modulo Bulk	Modulo Oedometrico
Capa	Capa	Vp (Corregido)	Vs (MASW)	Extension/Contraccion	(*)			Cizalladura	Esf. Normal/Contraccion	Incompresibilidad	Rigidez con Prof.
(m)	(m)	(m/s)	(m/s)	σ	d (kg/m3)			G (Mpa)	E (MPa)	K (MPa)	Eoed
3.4	3.7	406.9	249.2	0.20	1800	SUELO DENSO	Gravas arenosas	111.7	268.2	149.0	298.0
7.7	4.0	782.2	479.0	0.20	1800			413.0	991.2	550.7	1101.4
12.7	5.0	964.2	590.4	0.20	1800			627.5	1506.0	836.7	1673.3
18.7	6.0	1080.6	661.7	0.20	1800			788.2	1891.7	1050.9	2101.9
27.7	9.0	1342.1	821.9	0.20	1800	ROCA	Roca Volcanica Andesitica	1215.8	2917.9	1621.1	3242.1
		2523.2	1545.1	0.20	1800			4297.4	10313.7	5729.8	11459.6

Tabla 07. Parámetros Seudo dinámicos

MASW-10

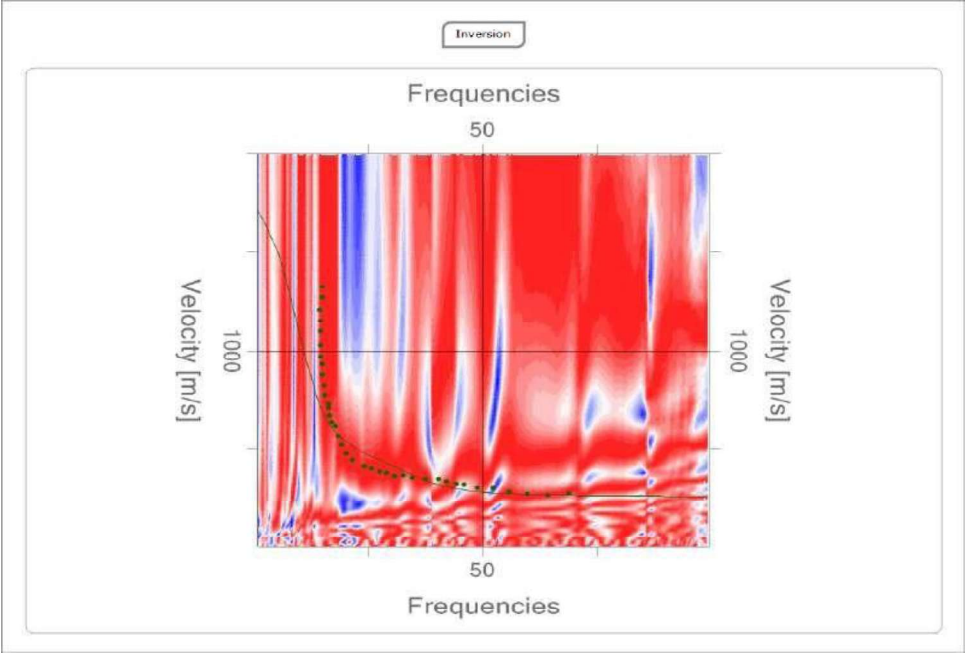


Figura 18. Curva Dispersiva

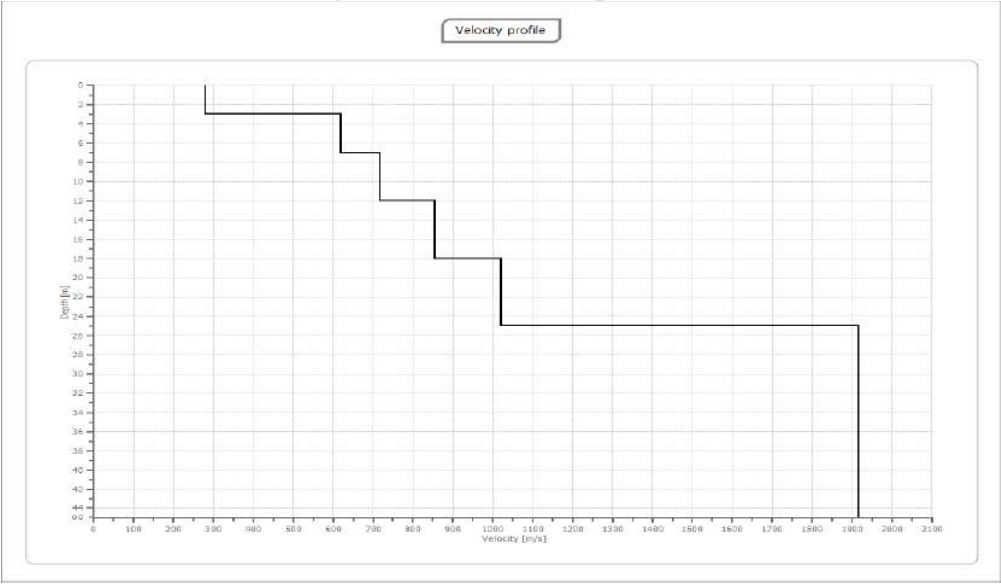


Figura 19. Perfil onda S

PARAMETROS SEUDODINAMICOS MASW-10											
Profundidad de	Espesor de	Velocidad	Velocidad	Relacion de Poisson	Densidad Estimada	TIPO SUELO		Modulo Corte o Rigidez	Modulo Young o Elastico	Modulo Bulk	Modulo Oedometrico
Capa	Capa	Vp (Corregido)	Vs (MASW)	Extension/Contraccion	(*)			Cizalladura	Est. Normal/Contraccion	Incompresibilidad	Rigidez con Prof.
(m)	(m)	(m/s)	(m/s)	σ	d (kg/m ³)			G (Mpa)	E (MPa)	K (MPa)	Eoed
4.4	4.4	352.5	215.8	0.20	1800	SUELO DENSO	Gravas arenosas	83.8	201.2	111.8	223.6
8.4	4.0	726.7	445.0	0.20	1800			356.5	855.5	475.3	950.6
13.5	5.0	773.2	473.5	0.20	1800			403.5	968.4	538.0	1076.0
21.4	7.9	985.7	603.6	0.20	1800			655.8	1574.0	874.5	1748.9
28.4	7.0	1294.1	792.5	0.20	1800	ROCA	Roca Volcanica Andesitica	1130.4	2712.9	1507.2	3014.3
		1621.6	993.0	0.20	1800			1774.9	4259.8	2366.5	4733.1

Tabla 08. Parámetros Seudo dinámicos

MASW-11

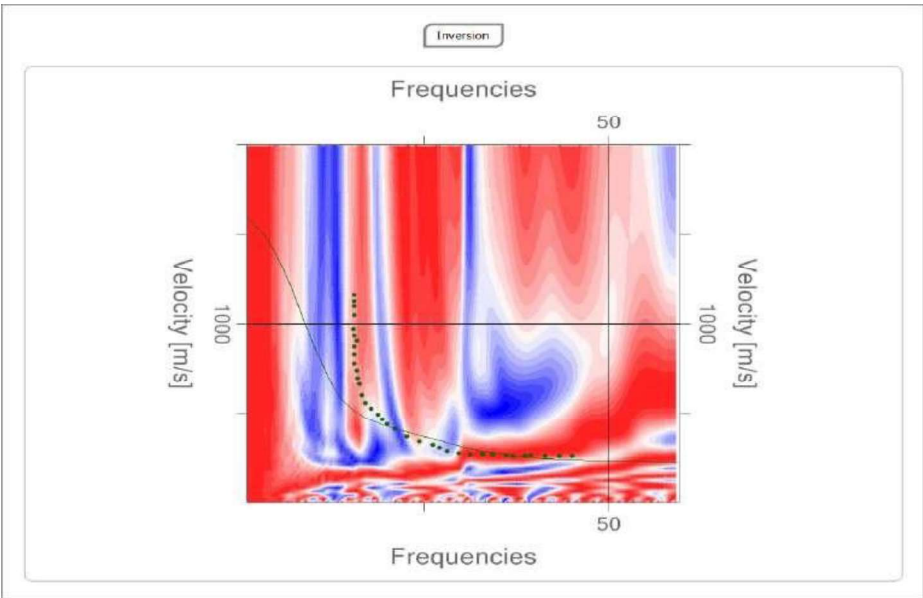


Figura 20. Curva Dispersiva

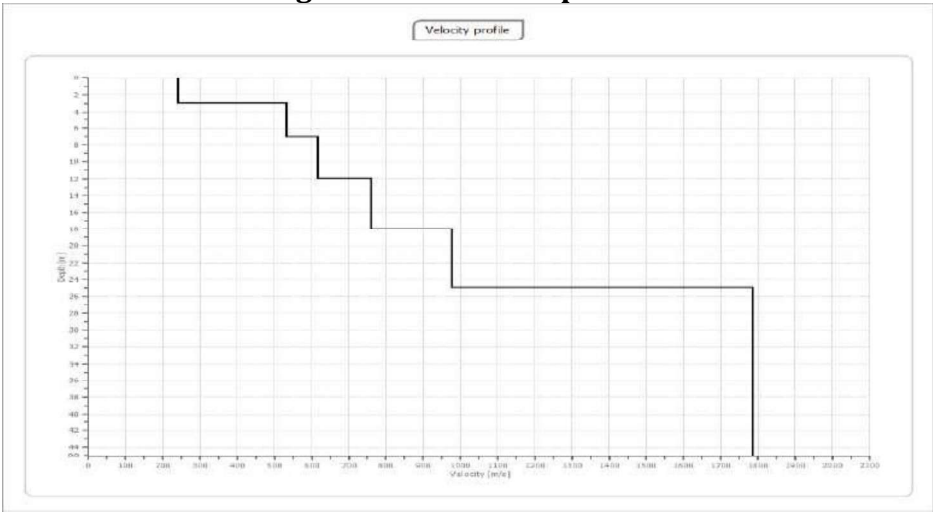


Figura 21. Perfil onda S

PARAMETROS SEUDODINAMICOS MASW-11											
Profundidad de	Espesor de	Velocidad	Velocidad	Relacion de Poisson	Densidad	TIPO		Modulo	Modulo	Modulo	Modulo
			Capa	Capa	Estimada	SUELO		Corte o Rigidez	Young o Elastico	Bulk	Oedometrico
Capa	Capa	Vp (Corregido)	Vs (MASW)	Extension/Contraccion	(°)			Cizalladura	Est. Normal/Contraccion	Incompresibilidad	Rigidez con Prof.
(m)	(m)	(m/s)	(m/s)	σ	d (kg/m3)			G (Mpa)	E (MPa)	K (MPa)	Eoed
3.0	3.0	369.5	226.3	0.20	1800	SUELO DENSO	Gravas arenosas	92.1	221.2	122.9	245.7
7.0	4.0	777.4	476.1	0.20	1800			408.0	979.1	543.9	1087.9
12.0	5.0	905.1	554.3	0.20	1800			553.0	1327.1	737.3	1474.6
18.0	6.0	1160.4	716.6	0.20	1800			908.9	2181.4	1211.9	2423.8
25.1	7.0	1361.0	833.4	0.20	1800	ROCA	Roca Volcanica Andesitica	1250.3	3000.6	1667.0	3334.0
		3063.5	1876.0	0.20	1800			6334.9	15203.7	8446.6	16893.1

Tabla 09. Parámetros Seudo dinámicos

MASW-12

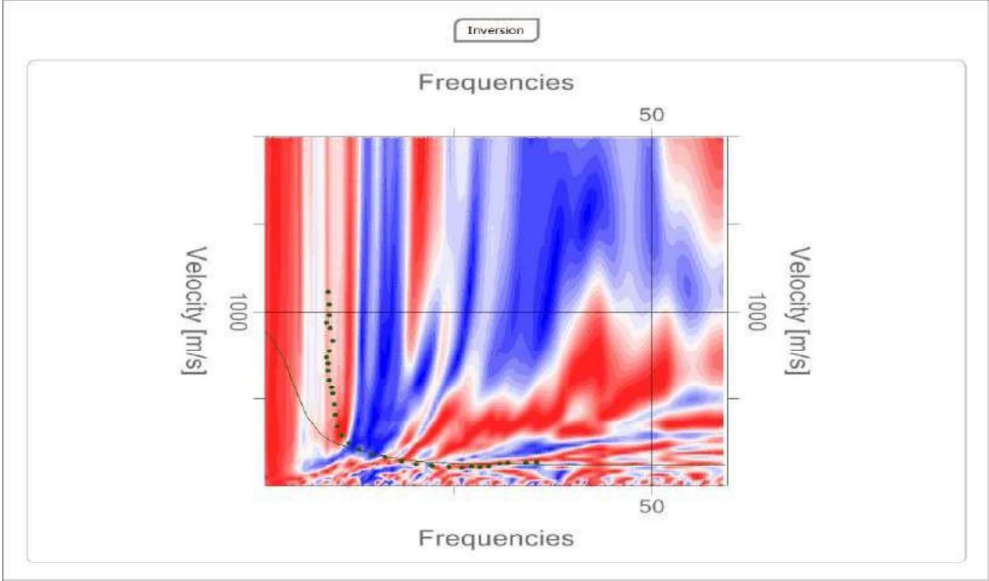


Figura 22. Curva Dispersiva

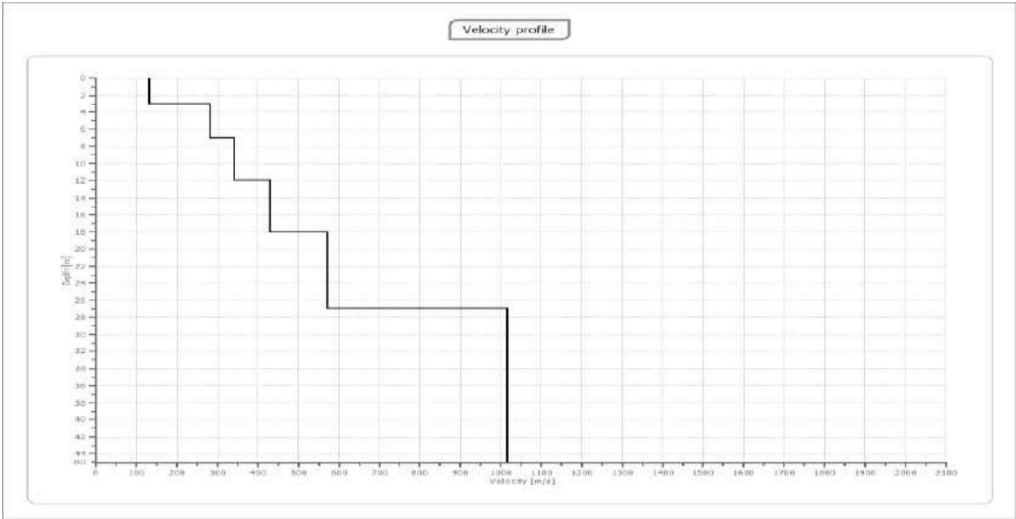


Figura 23. Perfil onda S

PARAMETROS SEUDODINAMICOS MASW-12											
Profundidad de	Espesor de	Velocidad	Velocidad	Relacion de Poisson	Densidad Estimada	TIPO		Modulo	Modulo	Modulo	Modulo
			Capa					Corte o Rigidez	Young o Elastico	Bulk	Oedométrico
Capa	Capa	Vp (Corregido)	Vs (MASW)	Extension/Contraccion	(*)			Cizalladura	Esf. Normal/Contraccion	Incompresibilidad	Rigidez con Prof.
(m)	(m)	(m/s)	(m/s)	σ	d (kg/m ³)			G (Mpa)	E (MPa)	K (MPa)	Eoed
3.0	3.0	392.3	240.2	0.20	1800	SUELO DENSO	Gravas arenosas	103.9	249.2	138.5	276.9
7.0	4.0	869.1	532.2	0.20	1800			509.9	1223.7	679.8	1359.7
12.0	5.0	1008.8	617.7	0.20	1800			666.9	1648.5	915.9	1831.7
18.0	6.0	1242.6	760.9	0.20	1800	ROCA	Roca Volcanica Andesitica	1042.2	2501.3	1389.6	2779.2
25.0	7.0	1593.9	976.1	0.20	1800			1714.9	4115.8	2286.5	4573.1
		2917.7	1786.7	0.20	1800			5746.1	13799.7	7661.5	15323.0

Tabla 10. Parámetros Seudo dinámicos

PERFILES DE REFRACCION SISMICA INTERPRETADAS

8.0 PANEL DE FOTOGRAFIAS



Foto 01. Trabajando en la línea RF-05



Foto 2. Trabajando en la línea RF-06



Foto3. Trabajando en la línea RF-06



Foto 4. Vista de la línea RF-06



Foto 5. Vista de la línea RF-06



Foto 6. Línea de geófonos RF-06



Facultad de Ingeniería Civil

Laboratorio N°2 - Mecánica de Suelos

INFORME N° S19 - 1001-2

SOLICITANTE : WILLIAM SEGOVIA MENDOZA
PROYECTO : DISEÑO DE BOTADERO DME15 (KM. 183 + 450)
UBICACIÓN : CERRO DE PASCO
FECHA : 21 DE OCTUBRE 2019

REPORT DE ENSAYOS DE LABORATORIO

Trinchera : T-3
Prof. (m.) : 2.40
Progresiva : Km. 183+450

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO - REFERENCIA ASTM D6913 / D6913M Procedimiento interno AT-PR.4 - Método "A"

Tamiz	Abertura (mm)	Parcial Retenido (%)	Acumulado (%)	
			Retenido	Pasa
3"	75.000	-	-	-
2"	50.000	-	-	-
1 1/2"	37.500	-	-	-
1"	25.000	-	-	-
3/4"	19.000	-	-	-
1/2"	12.500	-	-	-
3/8"	9.500	-	-	100
1/4"	6.300	1	1	99
N°4	4.750	1	2	98
N°10	2.000	5	8	92
N°20	0.850	10	17	83
N°30	0.600	5	22	78
N°40	0.425	6	28	72
N°60	0.250	10	37	63
N°100	0.150	9	46	54
N°140	0.106	6	52	48
N°200	0.075	5	58	42
FONDO		42		

% Grava	: 2
% Arena	: 55
% Finos	: 42

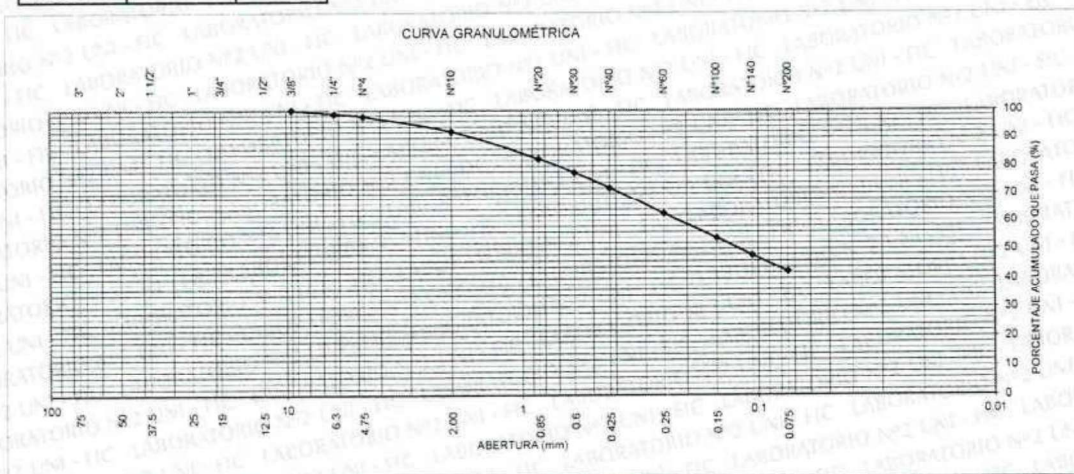
LIMITES DE CONSISTENCIA ASTM D4318

Procedimiento interno AT-PR.5

Límite Líquido	: 30
Límite Plástico	: 26
Índice Plástico	: 4

Clasificación SUCS ASTM D2487 : SM

Contenido de Humedad ASTM D2216 (%) : 22
Método "A"



Nota:

Los resultados de los ensayos corresponden a la muestra proporcionada por el cliente.

Los datos del solicitante, proyecto, procedencia e identificación fueron indicados por el cliente.

Ejecución : Téc. W. Oblitas H.

Aprobación : Ing. D. Basurto R. / Ing. B. Ramírez P.



Msc. Ing. LUISA E. SHUAN LUCAS
Jefa (e) Laboratorio N°2-Mecánica de Suelos
Facultad de Ingeniería Civil - UNI



Facultad de Ingeniería Civil

Laboratorio N°2 - Mecánica de Suelos

INFORME N° S19 - 1001-1

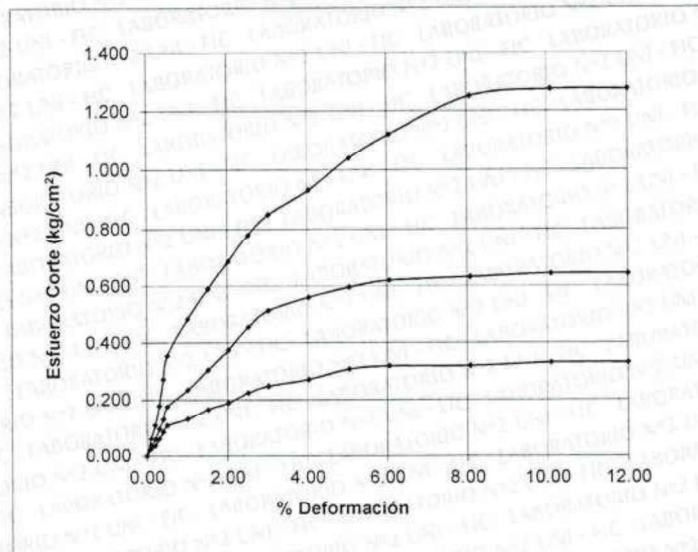
SOLICITANTE : WILLIAM SEGOVIA MENDOZA
PROYECTO : DISEÑO DE BOTADERO DME15 (KM. 183 + 450)
UBICACIÓN : CERRO DE PASCO
FECHA : 21 DE OCTUBRE 2019

ENSAYO DE CORTE DIRECTO - REFERENCIA ASTM D3080

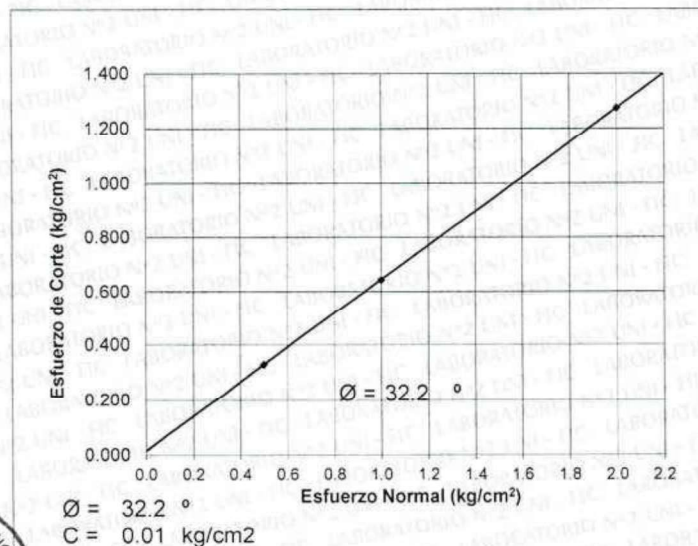
Procedimiento interno AT-PR.9

Estado : Remoldeado (material < Tamiz N° 4)
Calicata : C-3
Prof. (m.) : 1.50 - 4.30
Progresiva : Km. 183+450

% DEFORMACIÓN TANGENCIAL vs. ESFUERZO DE CORTE



ESFUERZO NORMAL vs. ESFUERZO DE CORTE





Facultad de Ingeniería Civil

Laboratorio N°2 - Mecánica de Suelos

INFORME N° S19 - 1001-1

SOLICITANTE : WILLIAM SEGOVIA MENDOZA
PROYECTO : DISEÑO DE BOTADERO DME15 (KM. 183 + 450)
UBICACIÓN : CERRO DE PASCO
FECHA : 21 DE OCTUBRE 2019

ENSAYO DE CORTE DIRECTO - REFERENCIA ASTM D3080

Procedimiento interno AT-PR.9

Estado : Remoldeado (material < Tamiz N° 4)
Calicata : C-3
Prof. (m.) : 1.50 - 4.30
Progresiva : Km. 183+450

Especimen N°	I	II	III
Diametro del anillo (cm)	5.95	5.95	5.95
Altura Inicial de la muestra (cm)	1.79	1.79	1.79
Densidad húmeda inicial (g/cm ³)	1.627	1.627	1.627
Densidad seca inicial (g/cm ³)	1.302	1.302	1.302
Cont. de humedad inicial (%)	24.9	24.9	24.9
Altura de la muestra antes de aplicar el esfuerzo de corte (cm)	1.77	1.76	1.74
Altura final de la muestra (cm)	1.77	1.75	1.73
Densidad húmeda final (g/cm ³)	1.611	1.617	1.622
Densidad seca final (g/cm ³)	1.321	1.333	1.348
Cont. de humedad final (%)	22.0	21.4	20.4
Esfuerzo normal (kg/cm ²)	0.5	1.0	2.0
Esfuerzo de corte máximo (kg/cm ²)	0.331	0.643	1.275
Angulo de fricción interna :	32.2 °		
Cohesión (kg/cm ²) :	0.01		

Nota:

Los especímenes se remoldearon con la densidad proporcionada por el cliente.

Los resultados de los ensayos corresponden a la muestra proporcionada por el cliente.

Los datos del solicitante, proyecto, procedencia e identificación fueron indicados por el cliente.

Ejecución : Téc. W. Oblitas H.

Aprobación : Ing. D. Basurto R. / Ing. B. Ramirez P.



Msc. Ing. LUISA E. SHUAN LUCAS
Jefa (e) Laboratorio N°2-Mecánica de Suelos
Facultad de Ingeniería Civil - UNI



Facultad de Ingeniería Civil

Laboratorio N°2 - Mecánica de Suelos

INFORME N° S19 - 1001-1

SOLICITANTE : WILLIAM SEGOVIA MENDOZA
PROYECTO : DISEÑO DE BOTADERO DME15 (KM. 183 + 450)
UBICACIÓN : CERRO DE PASCO
FECHA : 21 DE OCTUBRE 2019

REPORTE DE ENSAYOS DE LABORATORIO

Calicata : C-3
Prof. (m.) : 1.50 - 4.30
Progresiva : Km. 183+450

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO - REFERENCIA ASTM D6913 / D6913M
Procedimiento interno AT-PR.4 - Método "A"

Tamiz	Abertura (mm)	Parcial Retenido (%)	(%) Acumulado	
			Retenido	Pasa
3"	75.000	-	-	
2"	50.000	-	-	
1 1/2"	37.500	-	-	
1"	25.000	-	-	
3/4"	19.000	-	-	
1/2"	12.500	-	-	
3/8"	9.500	-	-	100
1/4"	6.300	2	2	98
Nº4	4.750	1	2	98
Nº10	2.000	7	9	91
Nº20	0.850	14	23	77
Nº30	0.600	7	30	70
Nº40	0.425	8	38	62
Nº60	0.250	13	50	50
Nº100	0.150	10	61	39
Nº140	0.106	6	67	33
Nº200	0.075	4	72	28
FONDO		28		

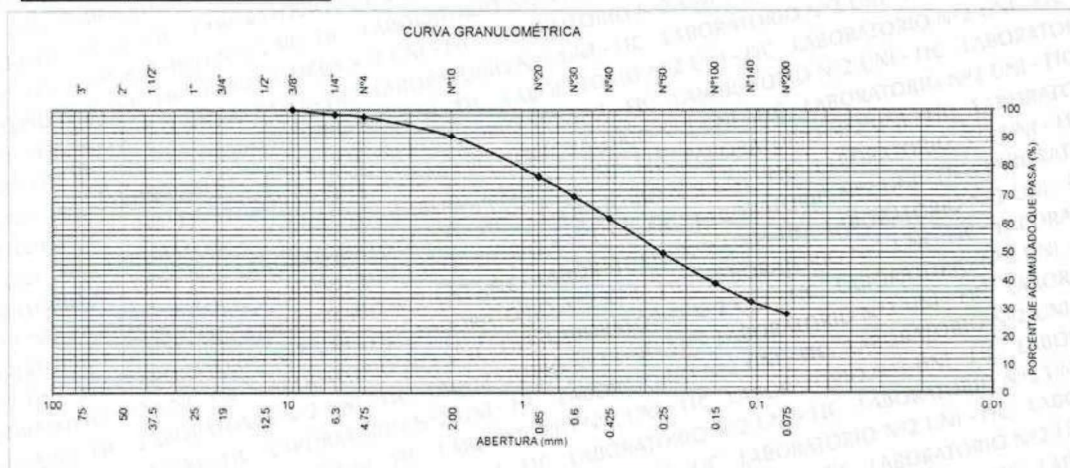
% Grava	: 2
% Arena	: 69
% Finos	: 28

LÍMITES DE CONSISTENCIA ASTM D4318

Procedimiento interno AT-PR.5

Límite Líquido	: 24
Límite Plástico	: 21
Índice Plástico	: 3

Clasificación SUCS ASTM D2487 : SM

Contenido de Humedad ASTM D2216 (%) : 25
Método "A"

Nota:

Los resultados de los ensayos corresponden a la muestra proporcionada por el cliente.

Los datos del solicitante, proyecto, procedencia e identificación fueron indicados por el cliente.

Ejecución : Téc. W. Oblitas H.

Aprobación : Ing. D. Basurto R. / Ing. B. Ramírez P.



Msc. Ing. LUISA E. SHUAN LUCAS
Jefa (e) Laboratorio N°2-Mecánica de Suelos
Facultad de Ingeniería Civil - UNI

Nombre del proyecto: **Diseño de los botaderos DME 15 (km: 183+450), DME 16A (km: 187+770) y DME 19 (km: 190+200)**

Cliente: **WSH Ingeniería y Construcción SAC**

Ubicación del proyecto: **Distrito: Yanahuanca - Provincia: Daniel Alcides Carrión - Región: Cerro de Pasco**

Código de muestra: -- N° de muestra: **M-1**

Profundidad (m): -- N° de proyecto: --

Zona: **Material de Desmonte (DME 13)** N° de Informe: **EPE-19.10.123**

Descripción: -- Fecha: **23/10/2019**

Solicitado por: **William Segovia Herrera**

N° de Prueba	1	2	3
(1) Peso Recip + Suelo Húmedo (g)	803,1	893,4	802,9
(2) Peso Recip + Suelo Seco (g)	735,6	826,6	738,0
(3) Peso Recipiente (g)	65,7	61,6	60,4
(4) Peso del Agua (1) - (2)	67,5	66,8	64,9
(5) Peso Suelo Seco (2) - (3)	669,9	765,0	677,6
(6) Humedad (4/5)*100 %	10,1	8,7	9,6
Humedad Promedio (%)	9,5		

Observación:

Las muestras han sido proporcionadas e identificadas por el solicitante.

Realizado por: MP Ingresado por: JGF Revisado por: CSM N° de informe: EPE-19.10.123

Estos datos se aplican solo a las muestras ensayadas. Los datos e información contenidos en esta hoja no pueden ser utilizados sin la autorización de Anddes Asociados S.A.C. Con la aceptación de los datos y resultados presentados en esta página, el Cliente está de acuerdo en limitar la responsabilidad de Anddes Asociados S.A.C. de cualquier reclamo que provenga del Cliente y otras partes por el uso de estos datos. Este informe no es válido sin la firma y sello del jefe del laboratorio.

Av. Javier Prado Este Cdra. 48, Edificio Capital Golf, Piso 13, Surco, Lima 33, Perú T: +51 1 317 4900

Nombre del Proyecto: **Diseño de los botaderos DME 15 (km: 183+450), DME 16A (km: 187+770) y DME 19 (km: 190+200)**

 Cliente: **WSH Ingeniería y Construcción SAC**

 Ubicación del Proyecto: **Distrito: Yanahuanca - Provincia: Daniel Alcides Carrión - Región: Cerro de Pasco**

 Cód. de Muestra: **--**

 N° de Muestra: **M-1**

 Profundidad (m): **--**

 N° de Proyecto: **--**

 Zona: **Material de Desmorte (DME 13)**

 N° de Informe: **EPE-19.10.123**

 Descripción: **--**

 Fecha: **23/10/2019**

 Solicitado Por: **William Segovia Herrera**

Tamiz	Abertura (mm)	% Acumulado que pasa
3"	76,200	100,0
2"	50,800	91,1
1 1/2"	38,100	83,0
1"	25,400	77,3
3/4"	19,050	74,0
1/2"	12,700	68,7
3/8"	9,525	66,2
Nº4	4,760	61,0
Nº10	2,000	55,3
Nº20	0,850	48,3
Nº40	0,425	42,0
Nº60	0,250	36,7
Nº100	0,150	31,6
Nº140	0,106	28,4
Nº200	0,075	25,8

Partículas >3" (%)	---
Grava (%)	39,0
Arena (%)	35,2
Limos y Arcillas (%)	25,8

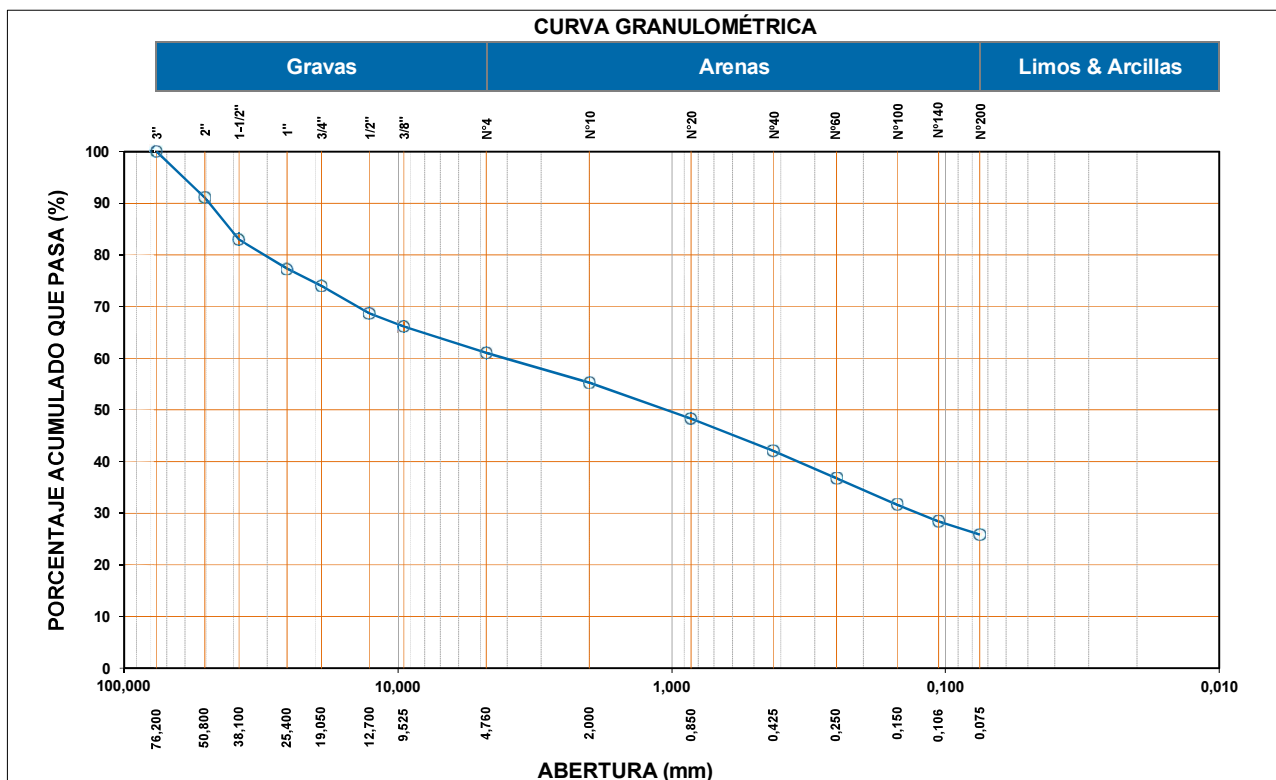
Límites de Atterberg:	
LL (%)	33
LP (%)	18
IP (%)	15

SUCS	GC
------	----

D ₁₀	
D ₃₀	0,13
D ₆₀	4,08
Cu	
Cc	

Humedad (%)	9,2
-------------	-----

Grava arcillosa con arena



Observación: (*) No se considera la cantidad de material mínima para muestras representativas de tamaños máximos de partículas de 2" y 3"
 Las muestras han sido proporcionadas e identificadas por el solicitante.

Realizado por: MP	Ingresado por: JGF	Revisado por: CSM	N° de informe: EPE-19.10.123
--------------------------	---------------------------	--------------------------	-------------------------------------

Estos datos se aplican solo a las muestras ensayadas. Los datos e información contenidos en esta hoja no pueden ser utilizados sin la autorización de Anddes Asociados S.A.C. Con la aceptación de los datos y resultados presentados en esta página, el Cliente está de acuerdo en limitar la responsabilidad de Anddes Asociados S.A.C. de cualquier reclamo que provenga del Cliente y otras partes por el uso de estos datos. Este informe no es válido sin la firma y sello del jefe del laboratorio.

Nombre del Proyecto: **Diseño de los botaderos DME 15 (km: 183+450), DME 16A (km: 187+770) y DME 19 (km: 190+200)**

Cliente: **WSH Ingeniería y Construcción SAC**

Ubicación del Proyecto: **Distrito: Yanahuanca - Provincia: Daniel Alcides Carrión - Región: Cerro de Pasco**

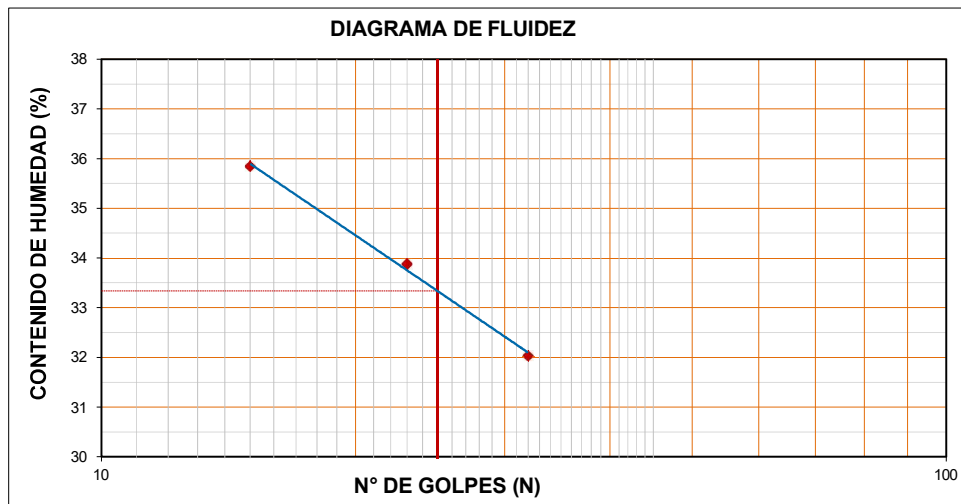
Cód. de Muestra: **--** N° de Muestra: **M-1**

Profundidad (m): **--** N° de Proyecto: **--**

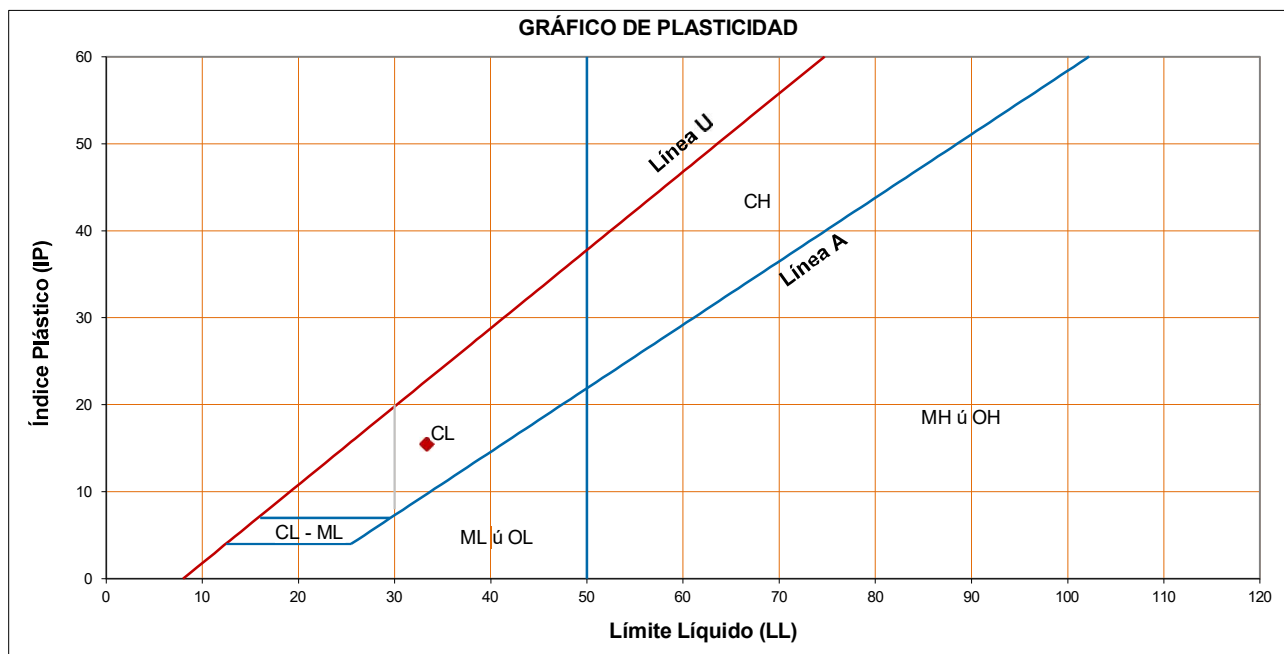
Zona: **Material de Desmonte (DME 13)** N° de Informe: **EPE-19.10.123**

Descripción: **--** Fecha: **23/10/2019**

Solicitado Por: **William Segovia Herrera**



Límites de Atterberg	
LL (%)	33
LP (%)	18
IP (%)	15



Observación:

Las muestras han sido proporcionadas e identificadas por el solicitante.

Realizado por: **MR** Ingresado por: **JGF** Revisado por: **CSM** N° de informe: **EPE-19.10.123**

Estos datos se aplican solo a las muestras ensayadas. Los datos e información contenidos en esta hoja no pueden ser utilizados sin la autorización de Anddes Asociados S.A.C. Con la aceptación de los datos y resultados presentados en esta página, el Cliente está de acuerdo en limitar la responsabilidad de Anddes Asociados S.A.C. de cualquier reclamo que provenga del Cliente y otras partes por el uso de estos datos. Este informe no es válido sin la firma y sello del jefe del laboratorio.

Nombre del Proyecto: **Diseño de los botaderos DME 15 (km: 183+450), DME 16A (km: 187+770) y DME 19 (km: 190+200)**

 Cliente: **WSH Ingeniería y Construcción SAC**

 Ubicación del Proyecto: **Distrito: Yanahuanca - Provincia: Daniel Alcides Carrión - Región: Cerro de Pasco**

 Cód. de Muestra: **--**

 N° de Muestra: **M-1**

 Profundidad (m): **--**

 N° de Proyecto: **--**

 Zona: **Material de Desmorte (DME 13)**

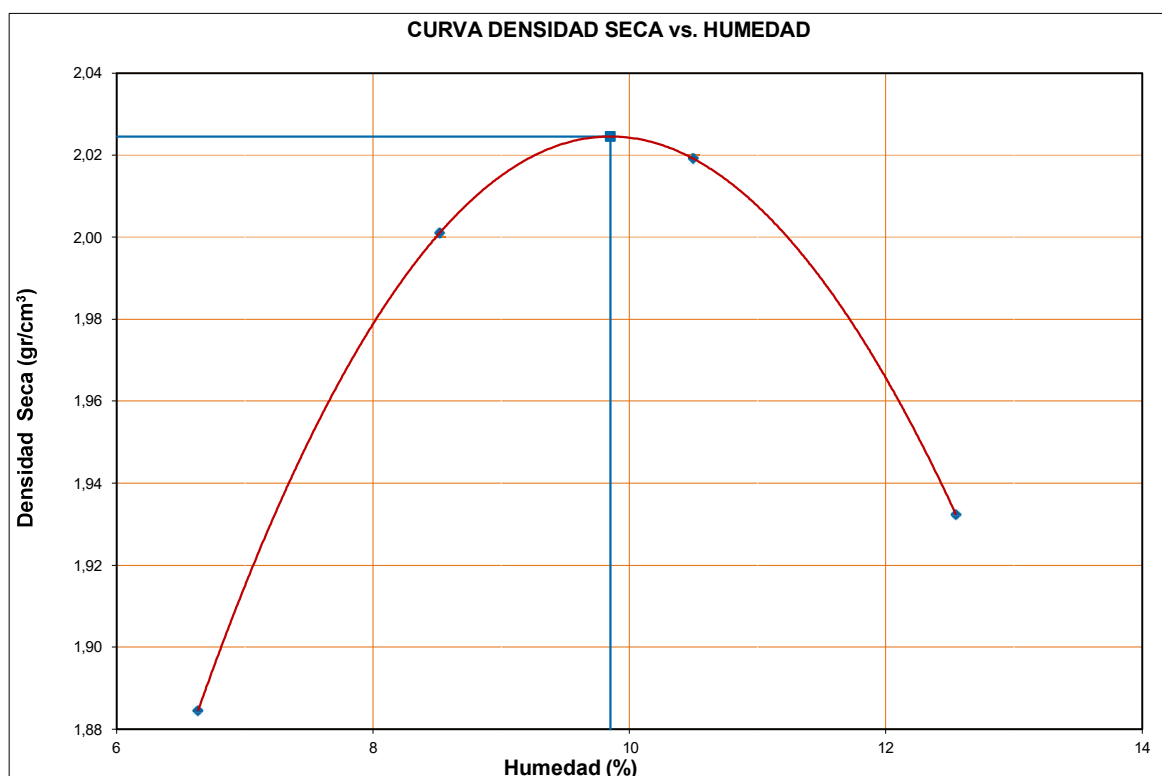
 N° de Informe: **EPE-19.10.123**

 Descripción: **--**

 Fecha: **23/10/2019**

 Solicitado Por: **William Segovia Herrera**

Prueba N°	1	2	3	4	5	6	7
Densidad seca (gr/cm ³)	1,884	2,001	2,019	1,932			
Humedad(%)	6,6	8,5	10,5	12,5			



Máxima Densidad Seca (gr/cm ³)	2,025
Optimo Contenido de Humedad (%)	9,9

Fraccion Sobre tamaño		
GS (Bulk)	=	2,50
w(%)	=	3,3

Máx. Dens. Seca Corregida (gr/cm ³)	2,131
Opt. Cont. de Humedad Corregida (%)	8,1

Observación:

Las muestras han sido proporcionadas e identificadas por el solicitante.

Realizado por:

MP

Ingresado por:

JGF

Revisado por:

CSM

N° de informe:

EPE-19.10.123

Estos datos se aplican solo a las muestras ensayadas. Los datos e información contenidos en esta hoja no pueden ser utilizados sin la autorización de Anddes Asociados S.A.C. Con la aceptación de los datos y resultados presentados en esta página, el Cliente está de acuerdo en limitar la responsabilidad de Anddes Asociados S.A.C. de cualquier reclamo que provenga del Cliente y otras partes por el uso de estos datos. Este informe no es válido sin la firma y sello del jefe del laboratorio.

Nombre del Proyecto: **Diseño de los botaderos DME 15 (km: 183+450), DME 16A (km: 187+770) y DME 19 (km: 190+200)**

Cliente: **WSH Ingeniería y Construcción SAC**

Ubicación del Proyecto: **Distrito: Yanahuanca - Provincia: Daniel Alcides Carrión - Región: Cerro de Pasco**

Cód. de Muestra: **--**

Nº de Muestra: **M-1**

Profundidad (m): **--**

Nº de Proyecto: **--**

Zona: **Material de Desmorte (DME 13)**

Nº de Informe: **EPE-19.10.123**

Descripción: **--**

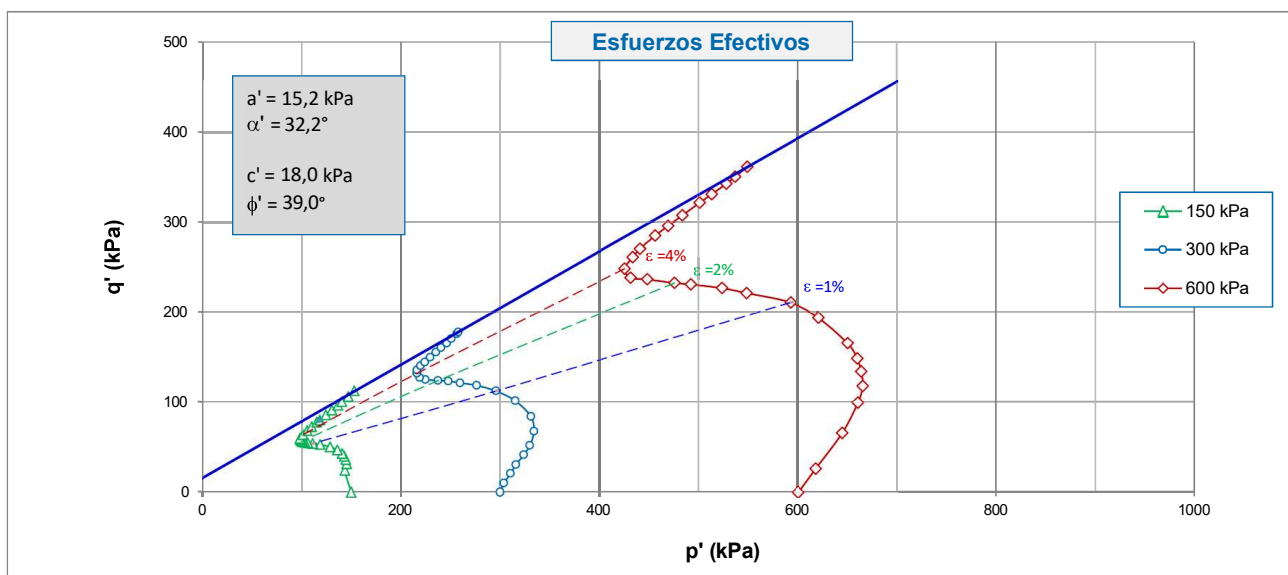
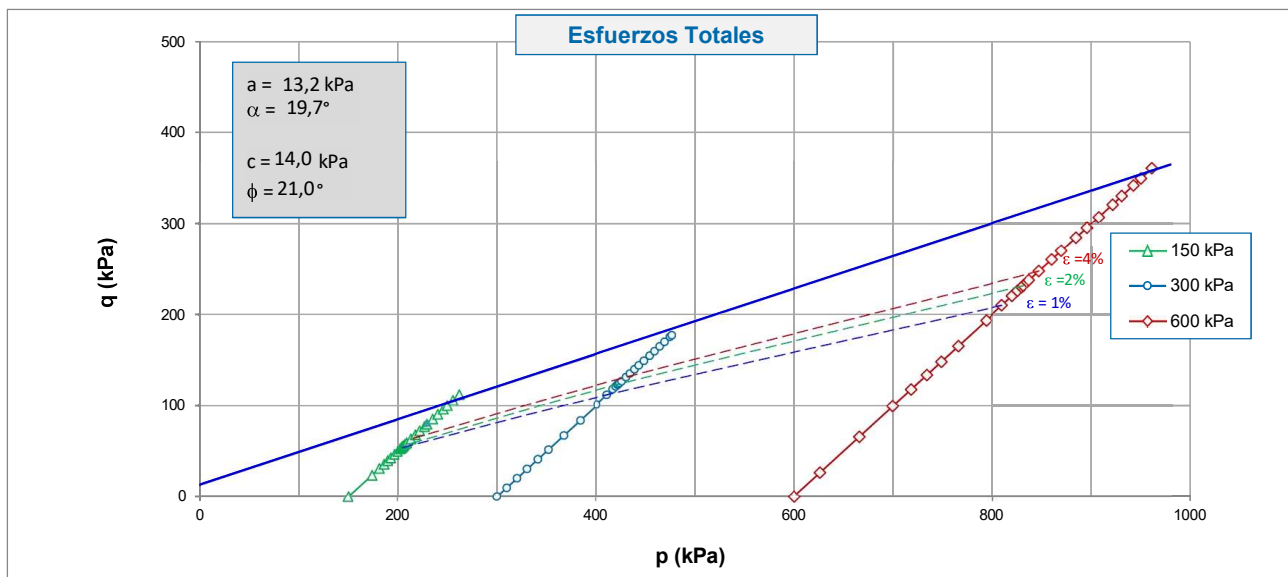
Fecha: **23/10/2019**

Solicitado Por: **William Segovia Herrera**

Clasificación SUCS:

GC

Estado : Remoldeado al 80 % P.M. de la Max. Densidad Seca (1,669 gr/cm3) y Opt. Contenido de humedad 8,8%



Observaciones:

Los datos de densidad seca y humedad fueron indicados por el solicitante.

Los parámetros de resistencia cortante reportados podrían ser reinterpretados en caso ser considerado pertinente por un profesional competente en geotecnia.

Grado de Compactación:

Bajo ☐

Medio ☒

Alto ☐

Elevado ☐

Realizado por:

EHP

Ingresado por:

JGF

Revisado por:

CSM

Nº de Informe:

EPE-19.10.123

Estos datos se aplican solo a las muestras ensayadas. Los datos e información contenidos en esta hoja no pueden ser utilizados sin la autorización de Anddes Asociados S.A.C. Con la aceptación de los datos y resultados presentados en esta página, el Cliente está de acuerdo en limitar la responsabilidad de Anddes Asociados S.A.C. de cualquier reclamo que provenga del Cliente y otras partes por el uso de estos datos. Este informe no es válido sin la firma y sello del jefe del laboratorio.

Nombre del Proyecto: **Diseño de los botaderos DME 15 (km: 183+450), DME 16A (km: 187+770) y DME 19 (km: 190+200)**

Cliente: **WSH Ingeniería y Construcción SAC**

Ubicación del Proyecto: **Distrito: Yanahuanca - Provincia: Daniel Alcides Carrión - Región: Cerro de Pasco**

Cód. de Muestra: **--**

Nº de Muestra: **M-1**

Profundidad (m): **--**

Nº de Proyecto: **--**

Zona: **Material de Desmorte (DME 13)**

Nº de Informe: **EPE-19.10.123**

Descripción: **--**

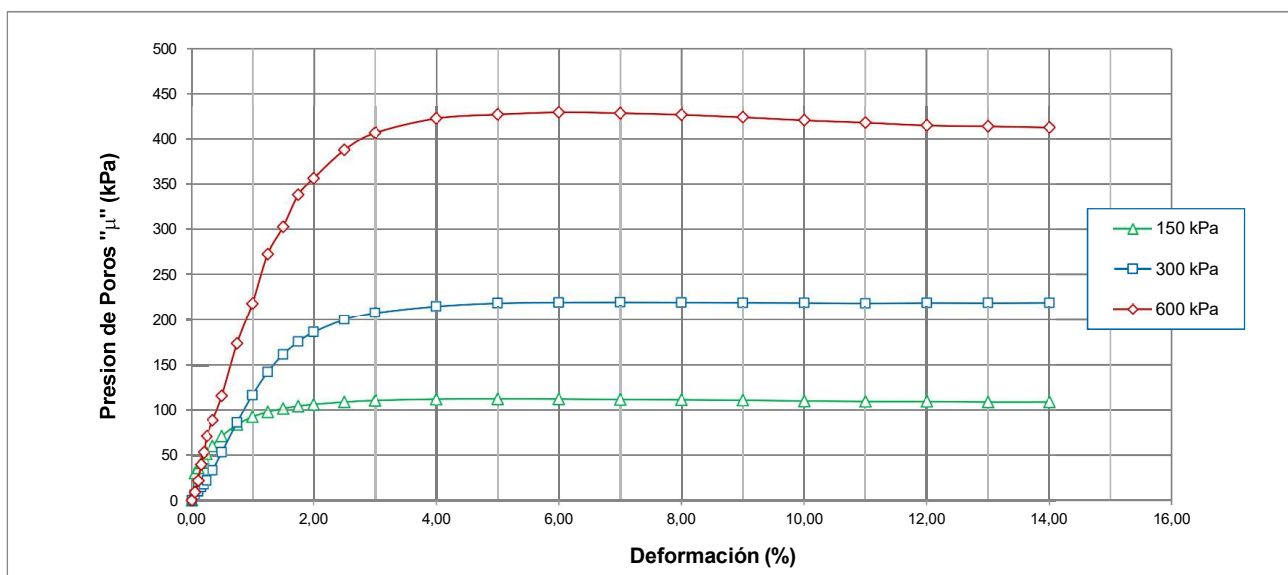
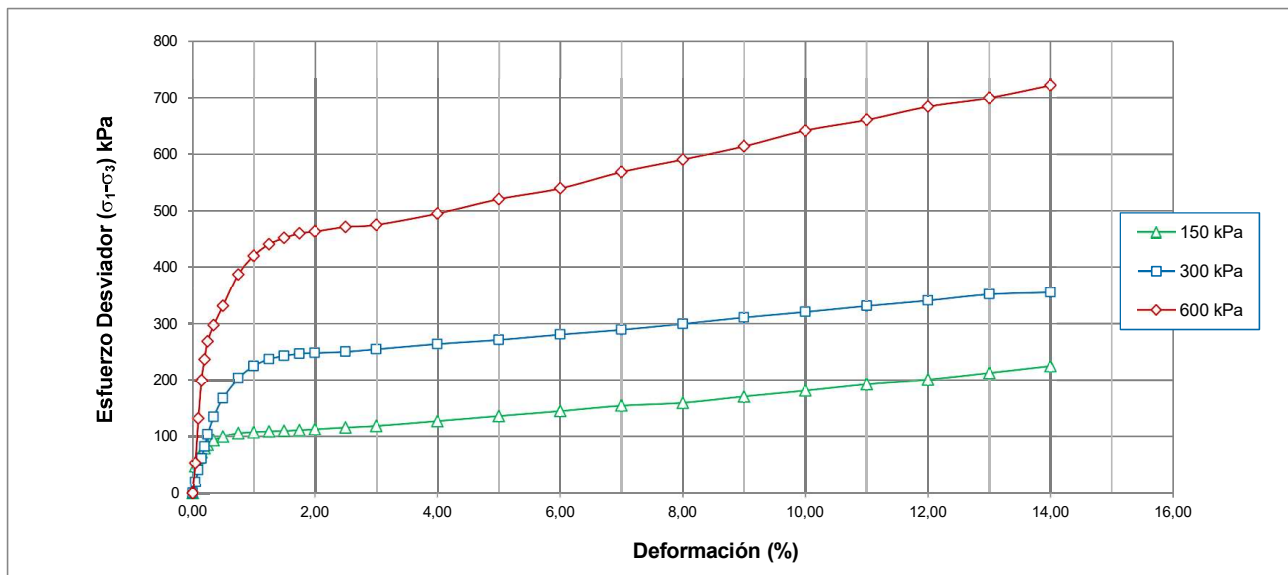
Fecha: **23/10/2019**

Solicitado Por: **William Segovia Herrera**

Clasificación SUCS:

GC

Estado : Remoldeado al 80 % P.M. de la Max. Densidad Seca (1,669 gr/cm3) y Opt. Contenido de humedad 8,8%



Observaciones:

Los datos de densidad seca y humedad fueron indicados por el solicitante.

Los parámetros de resistencia cortante podrían ser reinterpretados en caso de ser considerado pertinente por un profesional competente en geotecnia.

Grado de Compactación: Bajo ☐ Medio ☒ Alto ☐ Elevado ☐

Realizado por:

EHP

Ingresado por:

JGF

Revisado por:

CSM

Nº de Informe:

EPE-19.10.123

Estos datos se aplican solo a las muestras ensayadas. Los datos e información contenidos en esta hoja no pueden ser utilizados sin la autorización de Anddes Asociados S.A.C. Con la aceptación de los datos y resultados presentados en esta página, el Cliente está de acuerdo en limitar la responsabilidad de Anddes Asociados S.A.C. de cualquier reclamo que provenga del Cliente y otras partes por el uso de estos datos. Este informe no es válido sin la firma y sello del jefe del laboratorio.

Nombre del Proyecto: **Diseño de los botaderos DME 15 (km: 183+450), DME 16A (km: 187+770) y DME 19 (km: 190+200)**

 Cliente: **WSH Ingeniería y Construcción SAC**

 Ubicación del Proyecto: **Distrito: Yanahuanca - Provincia: Daniel Alcides Carrión - Región: Cerro de Pasco**

 Cód. de Muestra: **--**

 N° de Muestra: **M-1**

 Profundidad (m): **--**

 N° de Proyecto: **--**

 Zona: **Material de Desmonte (DME 13)**

 N° de Informe: **EPE-19.10.123**

 Descripción: **--**

 Fecha: **23/10/2019**

 Solicitado Por: **William Segovia Herrera**

Clasificación SUCS:

GC
Estado : Remoldeado al 80 % P.M. de la Max. Densidad Seca (1,669 gr/cm3) y Opt. Contenido de humedad 8,8%

Etapas de consolidación	Inicio	Final
Altura (cm)	31,00	29,87
Diámetro (cm)	15,20	14,56
Humedad (%)	8,80	14,09
Densidad seca (gr/cm3)	1,669	1,887

Velocidad	0,025	(cm/min)
Parámetro "B"	0,99	
Presión de celda	787	kPa
Contra presión	187	kPa
Esf. Efect. Inicial	600	kPa

Deformación (%)	σ_{dev} (kPa)	μ (kPa)	p (kPa)	q (kPa)	p' (kPa)	q' (kPa)	q'/p'	(σ'_1/σ'_3)
0,00	0	0	600,0	0,0	600,0	0,0	0,00	1,00
0,05	53	9	626,4	26,4	617,6	26,4	0,04	1,09
0,10	132	22	666,0	66,0	644,4	66,0	0,10	1,23
0,15	199	39	699,4	99,4	660,1	99,4	0,15	1,35
0,20	236	53	717,9	117,9	665,0	117,9	0,18	1,43
0,25	268	70	733,8	133,8	663,4	133,8	0,20	1,51
0,35	296	89	748,2	148,2	659,5	148,2	0,22	1,58
0,50	331	116	765,3	165,3	649,7	165,3	0,25	1,68
0,75	387	173	793,7	193,7	620,2	193,7	0,31	1,91
1,00	421	218	810,3	210,3	592,0	210,3	0,36	2,10
1,25	441	273	820,7	220,7	547,7	220,7	0,40	2,35
1,50	452	303	826,2	226,2	523,3	226,2	0,43	2,52
1,75	461	338	830,3	230,3	491,9	230,3	0,47	2,76
2,00	464	356	831,8	231,8	475,5	231,8	0,49	2,90
2,50	472	388	835,9	235,9	448,4	235,9	0,53	3,22
3,00	475	406	837,7	237,7	431,5	237,7	0,55	3,45
4,00	495	422	847,7	247,7	425,5	247,7	0,58	3,79
5,00	521	427	860,5	260,5	433,9	260,5	0,60	4,00
6,00	540	429	869,9	269,9	440,9	269,9	0,61	4,16
7,00	569	428	884,3	284,3	456,3	284,3	0,62	4,31
8,00	591	426	895,4	295,4	469,1	295,4	0,63	4,40
9,00	614	423	907,0	307,0	483,6	307,0	0,63	4,48
10,00	642	420	921,0	321,0	500,8	321,0	0,64	4,57
11,00	661	418	930,4	330,4	512,8	330,4	0,64	4,62
12,00	684	415	942,1	342,1	527,6	342,1	0,65	4,69
13,00	700	414	949,8	349,8	536,2	349,8	0,65	4,75
14,00	721	412	960,7	360,7	548,4	360,7	0,66	4,84

Observaciones:

Los datos de densidad seca y humedad fueron indicados por el solicitante.

Los parámetros de resistencia cortante reportados podrían ser reinterpretados en caso ser considerado pertinente por un profesional competente en geotecnia.

Grado de Compactación:

 Bajo ☐

 Medio ☒

 Alto ☐

 Elevado ☐

Realizado por:

Ingresado por:

Revisado por:

N° de Informe:

EHP

JGF

CSM

EPE-19.10.123

Estos datos se aplican solo a las muestras ensayadas. Los datos e información contenidos en esta hoja no pueden ser utilizados sin la autorización de Anddes Asociados S.A.C. Con la aceptación de los datos y resultados presentados en esta página, el Cliente está de acuerdo en limitar la responsabilidad de Anddes Asociados S.A.C. de cualquier reclamo que provenga del Cliente y otras partes por el uso de estos datos. Este informe no es válido sin la firma y sello del jefe del laboratorio.

Nombre del Proyecto: **Diseño de los botaderos DME 15 (km: 183+450), DME 16A (km: 187+770) y DME 19 (km: 190+200)**

 Cliente: **WSH Ingeniería y Construcción SAC**

 Ubicación del Proyecto: **Distrito: Yanahuanca - Provincia: Daniel Alcides Carrión - Región: Cerro de Pasco**

 Cód. de Muestra: **--**

 N° de Muestra: **M-1**

 Profundidad (m): **--**

 N° de Proyecto: **--**

 Zona: **Material de Desmonte (DME 13)**

 N° de Informe: **EPE-19.10.123**

 Descripción: **--**

 Fecha: **23/10/2019**

 Solicitado Por: **William Segovia Herrera**

Clasificación SUCS:

GC
Estado : Remoldeado al 80 % P.M. de la Max. Densidad Seca (1,669 gr/cm3) y Opt. Contenido de humedad 8,8%

Etapas de consolidación	Inicio	Final
Altura (cm)	31,00	29,92
Diámetro (cm)	15,20	14,70
Humedad (%)	8,80	15,26
Densidad seca (gr/cm3)	1,669	1,848

Velocidad	0,025	(cm/min)
Parámetro "B"	0,97	
Presión de celda	487	kPa
Contra presión	187	kPa
Esf. Efect. Inicial	300	kPa

Deformación (%)	σ_{dev} (kPa)	μ (kPa)	p (kPa)	q (kPa)	p' (kPa)	q' (kPa)	q'/p'	(σ'_1/σ'_3)
0,00	0	0	300,0	0,0	300,0	0,0	0,00	1,00
0,05	19	6	309,7	9,7	303,7	9,7	0,03	1,07
0,10	41	10	320,3	20,3	310,3	20,3	0,07	1,14
0,15	61	15	330,3	30,3	315,8	30,3	0,10	1,21
0,20	82	18	341,2	41,2	323,7	41,2	0,13	1,29
0,25	103	22	351,7	51,7	329,8	51,7	0,16	1,37
0,35	134	33	367,2	67,2	333,9	67,2	0,20	1,50
0,50	168	53	383,8	83,8	330,7	83,8	0,25	1,68
0,75	202	86	401,2	101,2	315,0	101,2	0,32	1,95
1,00	224	116	412,0	112,0	295,7	112,0	0,38	2,22
1,25	236	142	418,1	118,1	276,3	118,1	0,43	2,49
1,50	242	161	421,0	121,0	259,7	121,0	0,47	2,74
1,75	246	175	423,0	123,0	247,6	123,0	0,50	2,97
2,00	247	186	423,6	123,6	237,5	123,6	0,52	3,17
2,50	249	200	424,7	124,7	224,7	124,7	0,55	3,49
3,00	254	208	426,9	126,9	218,9	126,9	0,58	3,76
4,00	263	215	431,5	131,5	216,1	131,5	0,61	4,11
5,00	270	219	435,2	135,2	216,2	135,2	0,63	4,34
6,00	280	220	439,8	139,8	219,9	139,8	0,64	4,49
7,00	288	220	444,1	144,1	224,0	144,1	0,64	4,61
8,00	299	220	449,3	149,3	229,4	149,3	0,65	4,73
9,00	310	220	454,9	154,9	235,3	154,9	0,66	4,85
10,00	320	219	459,9	159,9	240,5	159,9	0,66	4,97
11,00	330	219	465,2	165,2	246,3	165,2	0,67	5,07
12,00	340	219	470,1	170,1	250,7	170,1	0,68	5,22
13,00	351	219	475,6	175,6	256,3	175,6	0,69	5,35
14,00	355	220	477,3	177,3	257,8	177,3	0,69	5,41

Observaciones:

Los datos de densidad seca y humedad fueron indicados por el solicitante.

Los parámetros de resistencia cortante reportados podrían ser reinterpretados en caso ser considerado pertinente por un profesional competente en geotecnia.

Grado de Compactación:

 Bajo ☐

 Medio ☒

 Alto ☐

 Elevado ☐

Realizado por:

Ingresado por:

Revisado por:

N° de Informe:

EHP

JGF

CSM

EPE-19.10.123

Estos datos se aplican solo a las muestras ensayadas. Los datos e información contenidos en esta hoja no pueden ser utilizados sin la autorización de Anddes Asociados S.A.C. Con la aceptación de los datos y resultados presentados en esta página, el Cliente está de acuerdo en limitar la responsabilidad de Anddes Asociados S.A.C. de cualquier reclamo que provenga del Cliente y otras partes por el uso de estos datos. Este informe no es válido sin la firma y sello del jefe del laboratorio.

Nombre del Proyecto: **Diseño de los botaderos DME 15 (km: 183+450), DME 16A (km: 187+770) y DME 19 (km: 190+200)**

 Cliente: **WSH Ingeniería y Construcción SAC**

 Ubicación del Proyecto: **Distrito: Yanahuanca - Provincia: Daniel Alcides Carrión - Región: Cerro de Pasco**

 Cód. de Muestra: **--** N° de Muestra: **M-1**

 Profundidad (m): **--** N° de Proyecto: **--**

 Zona: **Material de Desmante (DME 13)** N° de Informe: **EPE-19.10.123**

 Descripción: **--** Fecha: **23/10/2019**

 Solicitado Por: **William Segovia Herrera**

 Clasificación SUCS: **GC**
Estado : Remoldeado al 80 % P.M. de la Max. Densidad Seca (1,669 gr/cm3) y Opt. Contenido de humedad 8,8%

Etapas de consolidación	Inicio	Final
Altura (cm)	31,00	30,06
Diámetro (cm)	15,20	14,94
Humedad (%)	8,80	15,63
Densidad seca (gr/cm3)	1,669	1,782

Velocidad	0,025	(cm/min)
Parámetro "B"	0,95	
Presión de celda	337	kPa
Contra presión	187	kPa
Esf. Efect. Inicial	150	kPa

Deformación (%)	σ_{dev} (kPa)	μ (kPa)	p (kPa)	q (kPa)	p' (kPa)	q' (kPa)	q'/p'	(σ'_1/σ'_3)
0,00	0	0	150,0	0,0	150,0	0,0	0,00	1,00
0,05	47	30	173,7	23,7	143,6	23,7	0,16	1,39
0,10	62	36	181,1	31,1	145,5	31,1	0,21	1,54
0,15	72	41	185,9	35,9	144,7	35,9	0,25	1,66
0,20	79	47	189,6	39,6	143,0	39,6	0,28	1,77
0,25	85	52	192,7	42,7	141,1	42,7	0,30	1,87
0,35	93	60	196,6	46,6	136,2	46,6	0,34	2,04
0,50	100	71	200,0	50,0	128,8	50,0	0,39	2,27
0,75	105	84	202,7	52,7	118,9	52,7	0,44	2,59
1,00	107	92	203,7	53,7	111,3	53,7	0,48	2,86
1,25	109	98	204,4	54,4	106,5	54,4	0,51	3,09
1,50	110	102	204,8	54,8	103,2	54,8	0,53	3,26
1,75	111	104	205,5	55,5	101,2	55,5	0,55	3,43
2,00	112	106	206,2	56,2	100,0	56,2	0,56	3,57
2,50	116	109	207,8	57,8	99,0	57,8	0,58	3,81
3,00	118	111	209,2	59,2	98,6	59,2	0,60	4,01
4,00	127	112	213,5	63,5	101,5	63,5	0,63	4,34
5,00	136	112	218,0	68,0	105,7	68,0	0,64	4,61
6,00	145	112	222,4	72,4	110,3	72,4	0,66	4,82
7,00	154	112	227,2	77,2	115,6	77,2	0,67	5,02
8,00	160	111	229,8	79,8	118,5	79,8	0,67	5,12
9,00	171	111	235,4	85,4	124,6	85,4	0,69	5,36
10,00	181	110	240,6	90,6	130,6	90,6	0,69	5,53
11,00	192	110	246,2	96,2	136,7	96,2	0,70	5,75
12,00	200	109	250,1	100,1	140,7	100,1	0,71	5,93
13,00	212	109	255,9	105,9	147,1	105,9	0,72	6,14
14,00	224	109	262,0	112,0	153,2	112,0	0,73	6,44

Observaciones:

Los datos de densidad seca y humedad fueron indicados por el solicitante.

Los parámetros de resistencia cortante reportados podrían ser reinterpretados en caso ser considerado pertinente por un profesional competente en geotecnia.

Grado de Compactación: Bajo ☐ Medio ☒ Alto ☐ Elevado ☐

Realizado por:

Ingresado por:

Revisado por:

N° de Informe:

EHP

JGF

CSM

EPE-19.10.123

Estos datos se aplican solo a las muestras ensayadas. Los datos e información contenidos en esta hoja no pueden ser utilizados sin la autorización de Anddes Asociados S.A.C. Con la aceptación de los datos y resultados presentados en esta página, el Cliente está de acuerdo en limitar la responsabilidad de Anddes Asociados S.A.C. de cualquier reclamo que provenga del Cliente y otras partes por el uso de estos datos. Este informe no es válido sin la firma y sello del jefe del laboratorio.

Nombre del Proyecto: **Diseño de los botaderos DME 15 (km: 183+450), DME 16A (km: 187+770) y DME 19 (km: 190+200)**

Cliente: **WSH Ingeniería y Construcción SAC**

Ubicación del Proyecto: **Distrito: Yanahuanca - Provincia: Daniel Alcides Carrión - Región: Cerro de Pasco**

Cód. de Muestra: **--**

Nº de Muestra: **M-1**

Profundidad (m): **--**

Nº de Proyecto: **--**

Zona: **Material de Desmorte (DME 13)**

Nº de Informe: **EPE-19.10.123**

Descripción: **--**

Fecha: **23/10/2019**

Solicitado Por: **William Segovia Herrera**

Clasificación SUCS:

GC

Estado : Remoldeado al 80 % P.M. de la Max. Densidad Seca (1,669 gr/cm3) y Opt. Contenido de humedad 8,8%

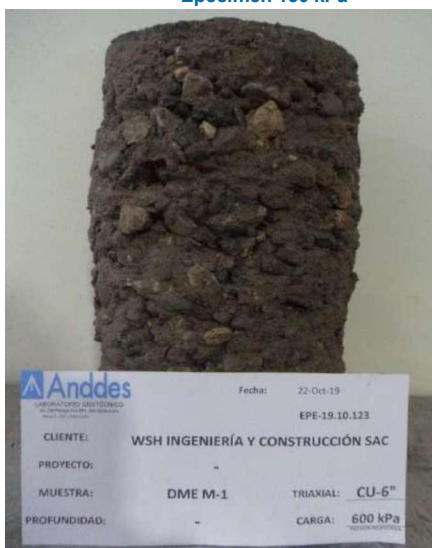
Panel Fotográfico



Epecímen 150 kPa



Epecímen 300 kPa



Epecímen 600 kPa



Espécimen 150, 300 y 600 kPa

Observaciones:

Los datos de densidad seca y humedad fueron indicados por el solicitante.

Los parámetros de resistencia cortante reportados podrían ser reinterpretados en caso ser considerado pertinente por un profesional competente en geotecnia.

Grado de Compactación:

Bajo ☐

Medio ☒

Alto ☐

Elevado ☐

Realizado por:

Ingresado por:

Revisado por:

Nº de Informe:

EHP

JGE

CSM

EPE-19.10.123

Estos datos se aplican solo a las muestras ensayadas. Los datos e información contenidos en esta hoja no pueden ser utilizados sin la autorización de Anddes Asociados S.A.C. Con la aceptación de los datos y resultados presentados en esta página, el Cliente está de acuerdo en limitar la responsabilidad de Anddes Asociados S.A.C. de cualquier reclamo que provenga del Cliente y otras partes por el uso de estos datos. Este informe no es válido sin la firma y sello del jefe del laboratorio.

Nombre del proyecto: **Diseño de los botaderos DME 15 (km: 183+450), DME 16A (km: 187+770) y DME 19 (km: 190+200)**

 Cliente: **WSH Ingeniería y Construcción SAC**

 Ubicación del proyecto: **Distrito: Yanahuanca - Provincia: Daniel Alcides Carrión - Región: Cerro de Pasco**

 Código de muestra: -- N° de muestra: **M-2**

Profundidad (m): -- N° de proyecto: --

 Zona: **Material de Desmonte (DME 13)** N° de Informe: **EPE-19.10.123**

 Descripción: -- Fecha: **23/10/2019**

 Solicitado por: **William Segovia Herrera**

N° de Prueba	1	2	3
(1) Peso Recip + Suelo Húmedo (g)	821,3	748,3	860,3
(2) Peso Recip + Suelo Seco (g)	758,5	688,0	785,1
(3) Peso Recipiente (g)	60,1	67,1	63,8
(4) Peso del Agua (1) - (2)	62,8	60,3	75,2
(5) Peso Suelo Seco (2) - (3)	698,4	620,9	721,3
(6) Humedad (4/5)*100 %	9,0	9,7	10,4
Humedad Promedio (%)	9,7		

Observación:

Las muestras han sido proporcionadas e identificadas por el solicitante.

Realizado por:	Ingresado por:	Revisado por:	N° de informe:
MP	JGF	CSM	EPE-19.10.123

Estos datos se aplican solo a las muestras ensayadas. Los datos e información contenidos en esta hoja no pueden ser utilizados sin la autorización de Anddes Asociados S.A.C. Con la aceptación de los datos y resultados presentados en esta página, el Cliente está de acuerdo en limitar la responsabilidad de Anddes Asociados S.A.C. de cualquier reclamo que provenga del Cliente y otras partes por el uso de estos datos. Este informe no es válido sin la firma y sello del jefe del laboratorio.

Nombre del Proyecto: **Diseño de los botaderos DME 15 (km: 183+450), DME 16A (km: 187+770) y DME 19 (km: 190+200)**

Cliente: **WSH Ingeniería y Construcción SAC**

Ubicación del Proyecto: **Distrito: Yanahuanca - Provincia: Daniel Alcides Carrión - Región: Cerro de Pasco**

Cód. de Muestra: **--**

Nº de Muestra: **M-2**

Profundidad (m): **--**

Nº de Proyecto: **--**

Zona: **Material de Desmorte (DME 13)**

Nº de Informe: **EPE-19.10.123**

Descripción: **--**

Fecha: **23/10/2019**

Solicitado Por: **William Segovia Herrera**

Tamiz	Abertura (mm)	% Acumulado que pasa
3"	76,200	100,0
2"	50,800	95,1
1 1/2"	38,100	88,8
1"	25,400	76,1
3/4"	19,050	72,0
1/2"	12,700	65,6
3/8"	9,525	61,1
Nº4	4,760	53,6
Nº10	2,000	48,9
Nº20	0,850	44,6
Nº40	0,425	41,8
Nº60	0,250	40,0
Nº100	0,150	38,4
Nº140	0,106	37,5
Nº200	0,075	36,6

Partículas >3" (%)	---
Grava (%)	46,4
Arena (%)	17,0
Limos y Arcillas (%)	36,6

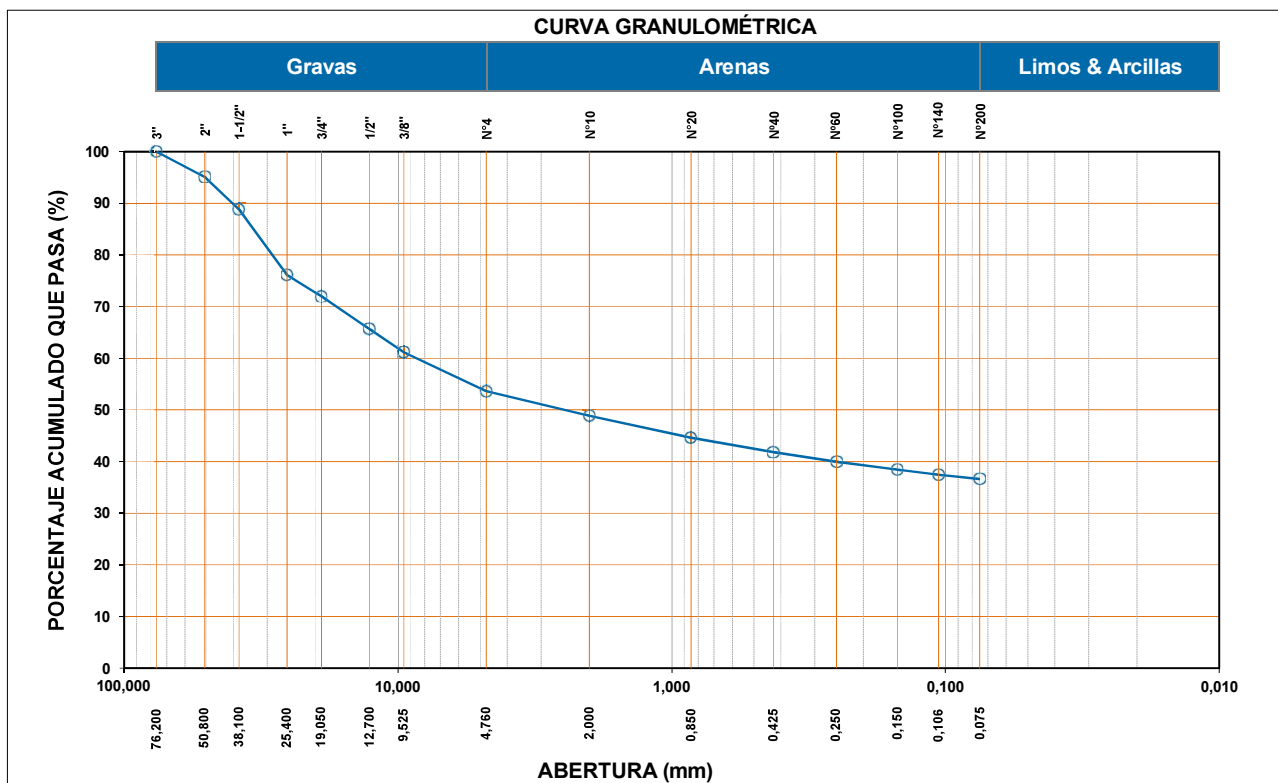
Límites de Atterberg:	
LL (%)	40
LP (%)	19
IP (%)	21

SUCS	GC
------	----

D ₁₀	
D ₃₀	
D ₆₀	8,57
Cu	
Cc	

Humedad (%)	8,9
-------------	-----

Grava arcillosa con arena



Observación: (*) No se considera la cantidad de material mínima para muestras representativas de tamaños máximos de partículas de 2" y 3"
 Las muestras han sido proporcionadas e identificadas por el solicitante.

Realizado por: MP	Ingresado por: JGF	Revisado por: CSM	Nº de informe: EPE-19.10.123
--------------------------	---------------------------	--------------------------	-------------------------------------

Estos datos se aplican solo a las muestras ensayadas. Los datos e información contenidos en esta hoja no pueden ser utilizados sin la autorización de Anddes Asociados S.A.C. Con la aceptación de los datos y resultados presentados en esta página, el Cliente está de acuerdo en limitar la responsabilidad de Anddes Asociados S.A.C. de cualquier reclamo que provenga del Cliente y otras partes por el uso de estos datos. Este informe no es válido sin la firma y sello del jefe del laboratorio.

Nombre del Proyecto: **Diseño de los botaderos DME 15 (km: 183+450), DME 16A (km: 187+770) y DME 19 (km: 190+200)**

Cliente: **WSH Ingeniería y Construcción SAC**

Ubicación del Proyecto: **Distrito: Yanahuanca - Provincia: Daniel Alcides Carrión - Región: Cerro de Pasco**

Cód. de Muestra: **--**

Nº de Muestra: **M-2**

Profundidad (m): **--**

Nº de Proyecto: **--**

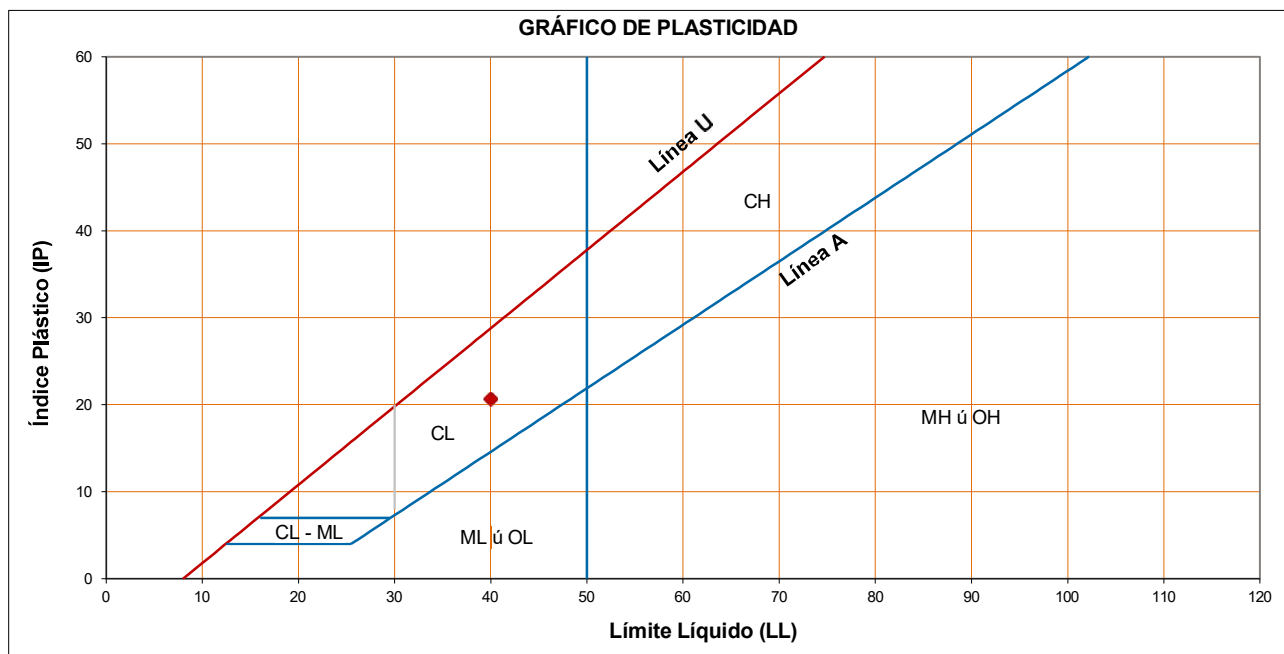
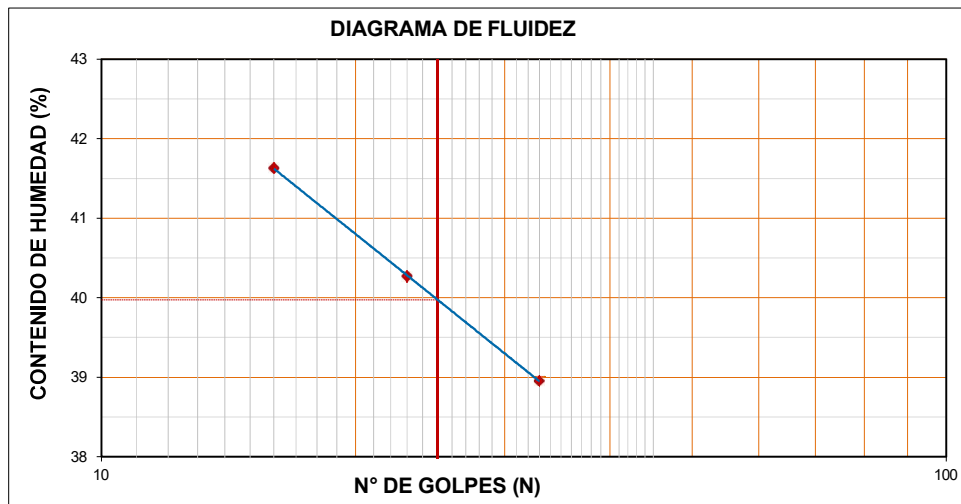
Zona: **Material de Desmonte (DME 13)**

Nº de Informe: **EPE-19.10.123**

Descripción: **--**

Fecha: **23/10/2019**

Solicitado Por: **William Segovia Herrera**



Observación:

Las muestras han sido proporcionadas e identificadas por el solicitante.

Realizado por:

MR

Ingresado por:

JGF

Revisado por:

CSM

Nº de informe:

EPE-19.10.123

Estos datos se aplican solo a las muestras ensayadas. Los datos e información contenidos en esta hoja no pueden ser utilizados sin la autorización de Anddes Asociados S.A.C. Con la aceptación de los datos y resultados presentados en esta página, el Cliente está de acuerdo en limitar la responsabilidad de Anddes Asociados S.A.C. de cualquier reclamo que provenga del Cliente y otras partes por el uso de estos datos. Este informe no es válido sin la firma y sello del jefe del laboratorio.

Nombre del Proyecto: **Diseño de los botaderos DME 15 (km: 183+450), DME 16A (km: 187+770) y DME 19 (km: 190+200)**

 Cliente: **WSH Ingeniería y Construcción SAC**

 Ubicación del Proyecto: **Distrito: Yanahuanca - Provincia: Daniel Alcides Carrión - Región: Cerro de Pasco**

 Cód. de Muestra: **--**

 N° de Muestra: **M-2**

 Profundidad (m): **--**

 N° de Proyecto: **--**

 Zona: **Material de Desmonte (DME 13)**

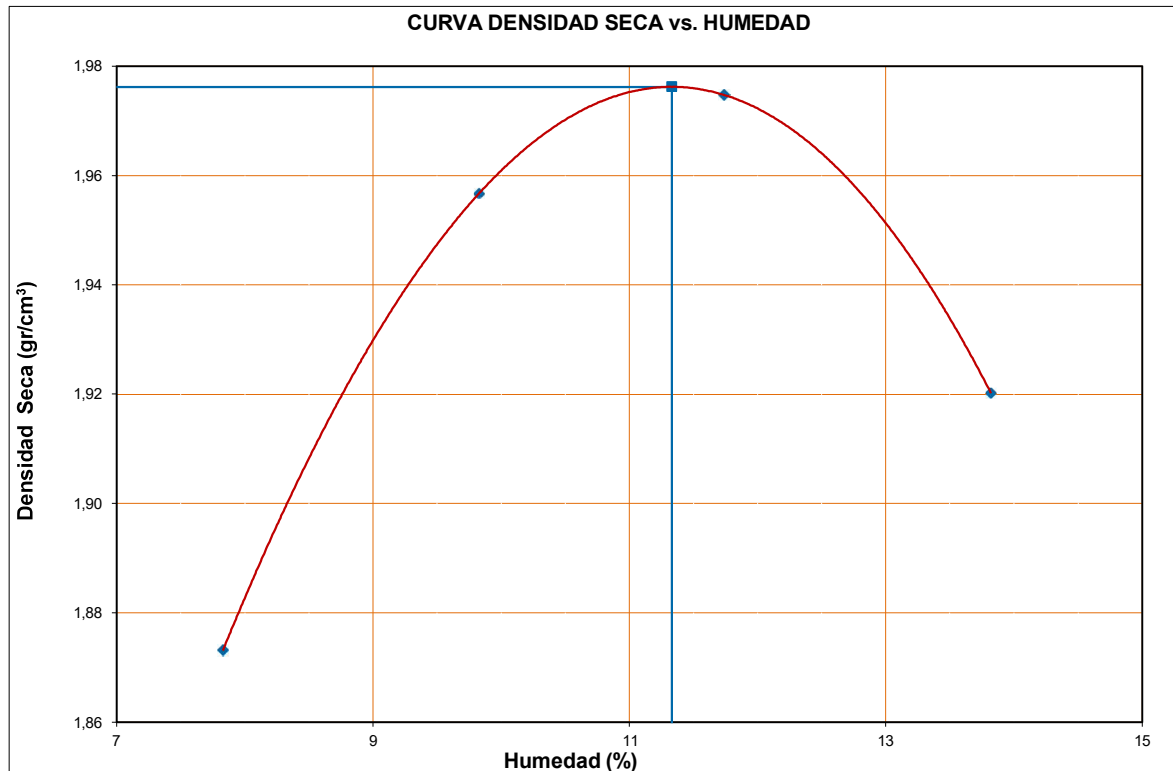
 N° de Informe: **EPE-19.10.123**

 Descripción: **--**

 Fecha: **23/10/2019**

 Solicitado Por: **William Segovia Herrera**

Prueba N°	1	2	3	4	5	6	7
Densidad seca (gr/cm ³)	1,873	1,957	1,975	1,920			
Humedad(%)	7,8	9,8	11,7	13,8			



Máxima Densidad Seca (gr/cm ³)	1,976
Optimo Contenido de Humedad (%)	11,3

Fraccion Sobre tamaño		
GS (Bulk)	=	2,48
w(%)	=	3,1

Máx. Dens. Seca Corregida (gr/cm ³)	2,096
Opt. Cont. de Humedad Corregida (%)	9,0

Observación:

Las muestras han sido proporcionadas e identificadas por el solicitante.

Realizado por:	Ingresado por:	Revisado por:	N° de informe:
MP	JGF	CSM	EPE-19.10.123

Estos datos se aplican solo a las muestras ensayadas. Los datos e información contenidos en esta hoja no pueden ser utilizados sin la autorización de Anddes Asociados S.A.C. Con la aceptación de los datos y resultados presentados en esta página, el Cliente está de acuerdo en limitar la responsabilidad de Anddes Asociados S.A.C. de cualquier reclamo que provenga del Cliente y otras partes por el uso de estos datos. Este informe no es válido sin la firma y sello del jefe del laboratorio.

Nombre del Proyecto: **Diseño de los botaderos DME 15 (km: 183+450), DME 16A (km: 187+770) y DME 19 (km: 190+200)**

Cliente: **WSH Ingeniería y Construcción SAC**

Ubicación del Proyecto: **Distrito: Yanahuanca - Provincia: Daniel Alcides Carrión - Región: Cerro de Pasco**

Cód. de Muestra: **--**

Nº de Muestra: **M-2**

Profundidad (m): **--**

Nº de Proyecto: **--**

Zona: **Material de Desmorte (DME 13)**

Nº de Informe: **EPE-19.10.123**

Descripción: **--**

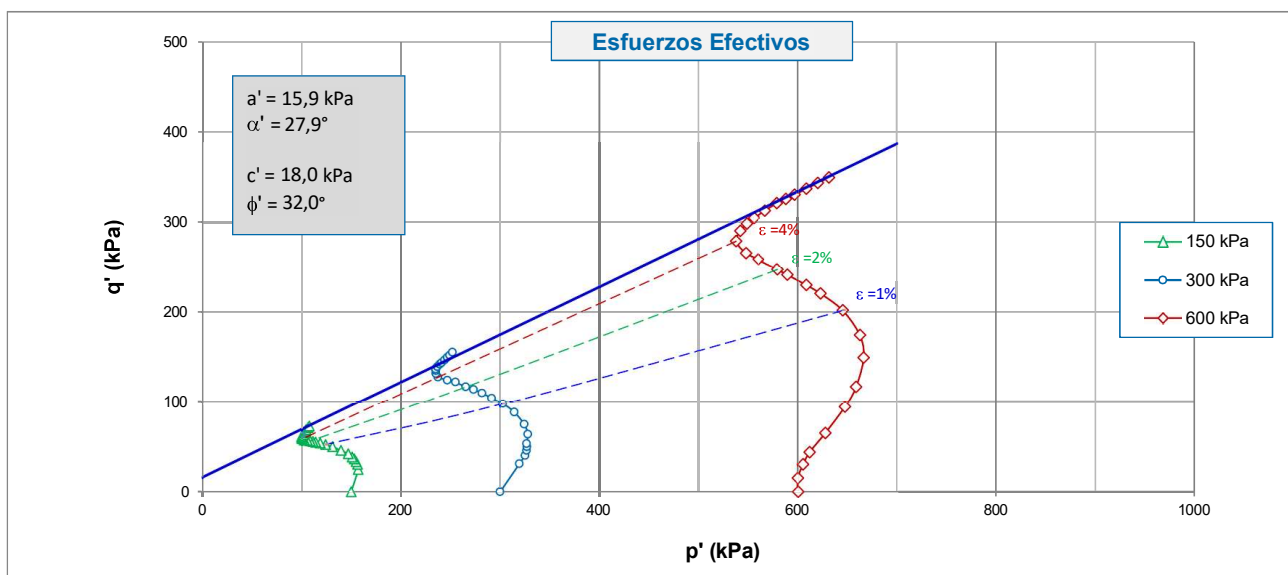
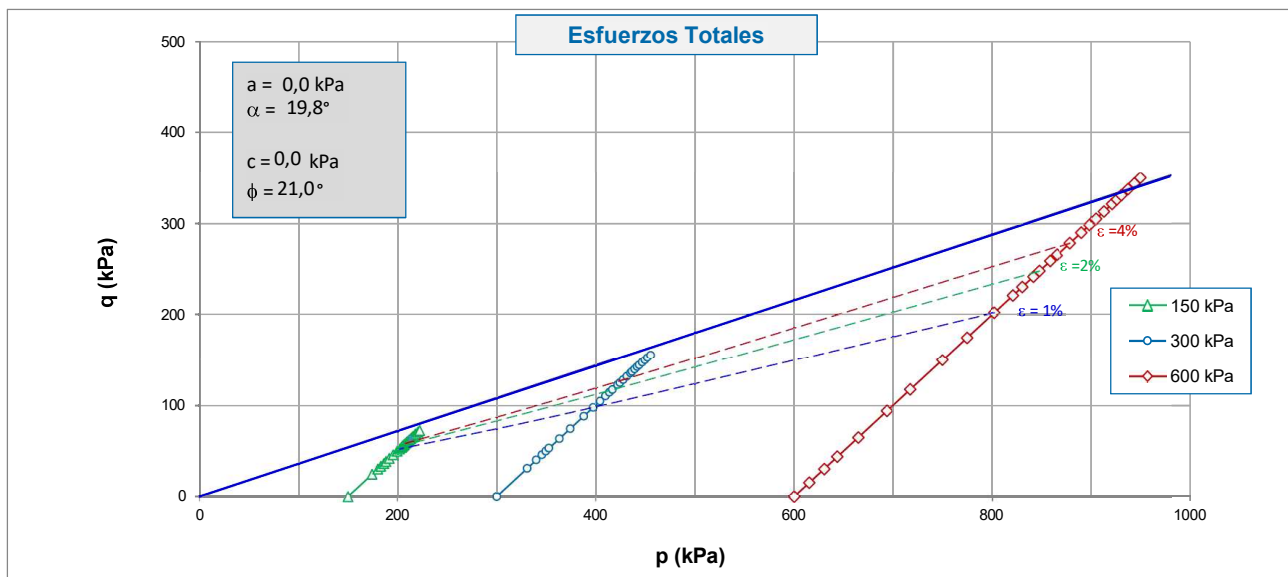
Fecha: **23/10/2019**

Solicitado Por: **William Segovia Herrera**

Clasificación SUCS:

GC

Estado : Remoldeado al 80 % P.M. de la Max. Densidad Seca (1,617 gr/cm3) y Opt. Contenido de humedad 10,4%



Observaciones:

Los datos de densidad seca y humedad fueron indicados por el solicitante.

Los parámetros de resistencia cortante reportados podrían ser reinterpretados en caso ser considerado pertinente por un profesional competente en geotecnia.

Grado de Compactación:

Bajo ☐

Medio ☒

Alto ☐

Elevado ☐

Realizado por:

EHP

Ingresado por:

JGF

Revisado por:

CSM

Nº de Informe:

EPE-19.10.123

Estos datos se aplican solo a las muestras ensayadas. Los datos e información contenidos en esta hoja no pueden ser utilizados sin la autorización de Anddes Asociados S.A.C. Con la aceptación de los datos y resultados presentados en esta página, el Cliente está de acuerdo en limitar la responsabilidad de Anddes Asociados S.A.C. de cualquier reclamo que provenga del Cliente y otras partes por el uso de estos datos. Este informe no es válido sin la firma y sello del jefe del laboratorio.

Nombre del Proyecto: **Diseño de los botaderos DME 15 (km: 183+450), DME 16A (km: 187+770) y DME 19 (km: 190+200)**

Cliente: **WSH Ingeniería y Construcción SAC**

Ubicación del Proyecto: **Distrito: Yanahuanca - Provincia: Daniel Alcides Carrión - Región: Cerro de Pasco**

Cód. de Muestra: **--**

Nº de Muestra: **M-2**

Profundidad (m): **--**

Nº de Proyecto: **--**

Zona: **Material de Desmorte (DME 13)**

Nº de Informe: **EPE-19.10.123**

Descripción: **--**

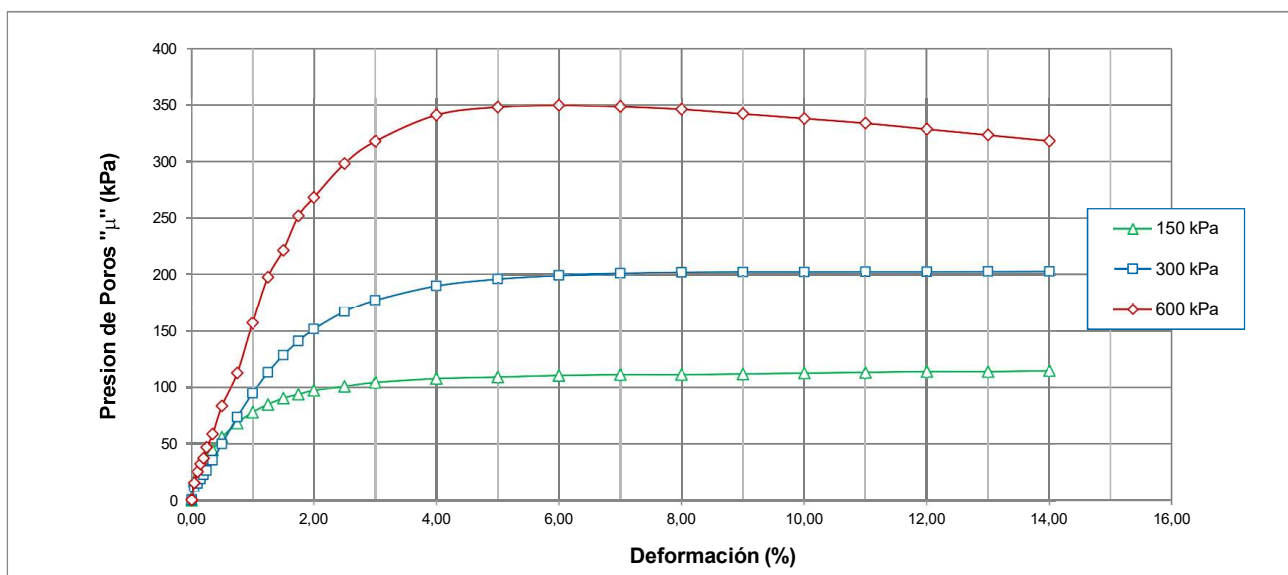
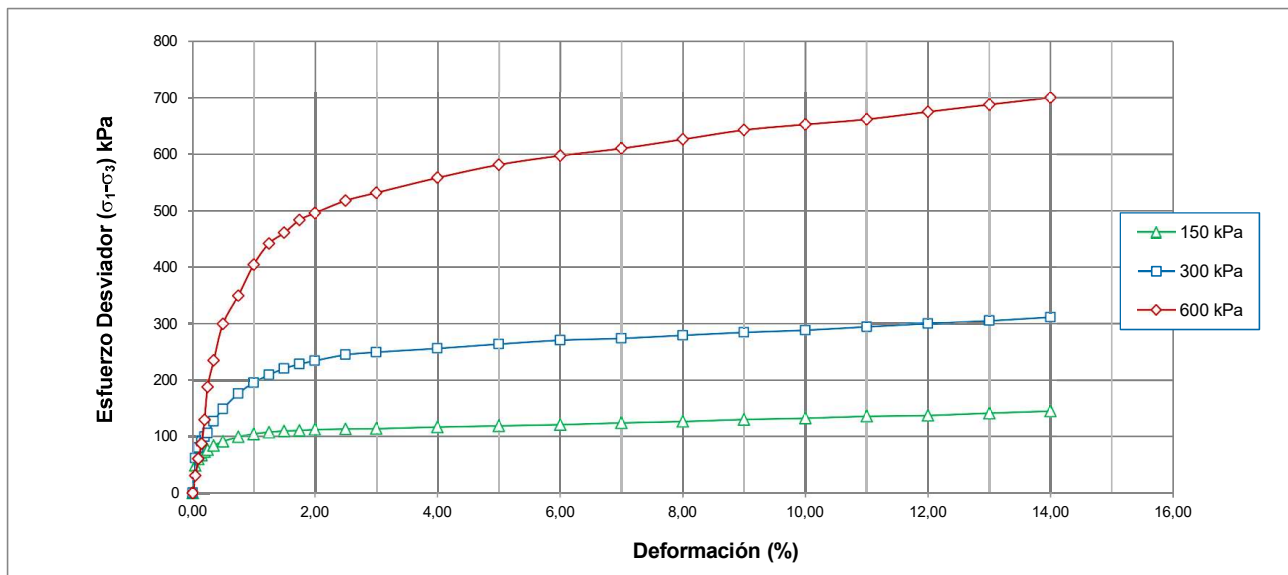
Fecha: **23/10/2019**

Solicitado Por: **William Segovia Herrera**

Clasificación SUCS:

GC

Estado : Remoldeado al 80 % P.M. de la Max. Densidad Seca (1,617 gr/cm3) y Opt. Contenido de humedad 10,4%



Observaciones:

Los datos de densidad seca y humedad fueron indicados por el solicitante.

Los parámetros de resistencia cortante podrían ser reinterpretados en caso de ser considerado pertinente por un profesional competente en geotecnia.

Grado de Compactación: Bajo ☐ Medio ☒ Alto ☐ Elevado ☐

Realizado por:

EHP

Ingresado por:

JGF

Revisado por:

CSM

Nº de Informe:

EPE-19.10.123

Estos datos se aplican solo a las muestras ensayadas. Los datos e información contenidos en esta hoja no pueden ser utilizados sin la autorización de Anddes Asociados S.A.C. Con la aceptación de los datos y resultados presentados en esta página, el Cliente está de acuerdo en limitar la responsabilidad de Anddes Asociados S.A.C. de cualquier reclamo que provenga del Cliente y otras partes por el uso de estos datos. Este informe no es válido sin la firma y sello del jefe del laboratorio.

Nombre del Proyecto: **Diseño de los botaderos DME 15 (km: 183+450), DME 16A (km: 187+770) y DME 19 (km: 190+200)**

 Cliente: **WSH Ingeniería y Construcción SAC**

 Ubicación del Proyecto: **Distrito: Yanahuanca - Provincia: Daniel Alcides Carrión - Región: Cerro de Pasco**

 Cód. de Muestra: **--**

 N° de Muestra: **M-2**

 Profundidad (m): **--**

 N° de Proyecto: **--**

 Zona: **Material de Desmonte (DME 13)**

 N° de Informe: **EPE-19.10.123**

 Descripción: **--**

 Fecha: **23/10/2019**

 Solicitado Por: **William Segovia Herrera**

Clasificación SUCS:

GC
Estado : Remoldeado al 80 % P.M. de la Max. Densidad Seca (1,617 gr/cm3) y Opt. Contenido de humedad 10,4%

Etapas de consolidación	Inicio	Final
Altura (cm)	31,00	29,20
Diámetro (cm)	15,20	14,51
Humedad (%)	10,40	13,71
Densidad seca (gr/cm3)	1,617	1,885

Velocidad	0,025	(cm/min)
Parámetro "B"	0,99	
Presión de celda	787	kPa
Contra presión	187	kPa
Esf. Efect. Inicial	600	kPa

Deformación (%)	σ_{dev} (kPa)	μ (kPa)	p (kPa)	q (kPa)	p' (kPa)	q' (kPa)	q'/p'	(σ'_1/σ'_3)
0,00	0	0	600,0	0,0	600,0	0,0	0,00	1,00
0,05	30	16	615,1	15,1	599,6	15,1	0,03	1,05
0,10	60	25	630,2	30,2	605,0	30,2	0,05	1,11
0,15	87	32	643,5	43,5	611,4	43,5	0,07	1,15
0,20	129	37	664,6	64,6	627,2	64,6	0,10	1,23
0,25	187	47	693,7	93,7	646,9	93,7	0,14	1,34
0,35	234	59	717,0	117,0	658,3	117,0	0,18	1,43
0,50	299	83	749,4	149,4	665,9	149,4	0,22	1,58
0,75	349	112	774,4	174,4	662,1	174,4	0,26	1,72
1,00	403	157	801,7	201,7	644,9	201,7	0,31	1,91
1,25	441	198	820,5	220,5	622,5	220,5	0,35	2,10
1,50	460	222	829,9	229,9	608,2	229,9	0,38	2,22
1,75	483	252	841,3	241,3	589,2	241,3	0,41	2,39
2,00	495	268	847,3	247,3	579,0	247,3	0,43	2,49
2,50	517	298	858,3	258,3	560,1	258,3	0,46	2,71
3,00	530	318	865,2	265,2	547,4	265,2	0,48	2,88
4,00	557	341	878,4	278,4	537,4	278,4	0,52	3,15
5,00	580	348	889,9	289,9	541,9	289,9	0,54	3,30
6,00	596	349	897,9	297,9	548,4	297,9	0,54	3,38
7,00	609	348	904,3	304,3	555,8	304,3	0,55	3,42
8,00	625	346	912,3	312,3	566,2	312,3	0,55	3,46
9,00	641	342	920,6	320,6	578,5	320,6	0,55	3,49
10,00	651	338	925,4	325,4	587,5	325,4	0,55	3,48
11,00	660	334	930,0	330,0	596,2	330,0	0,55	3,48
12,00	673	329	936,6	336,6	608,1	336,6	0,55	3,48
13,00	686	323	943,0	343,0	619,7	343,0	0,55	3,48
14,00	698	318	949,2	349,2	631,1	349,2	0,55	3,48

Observaciones:

Los datos de densidad seca y humedad fueron indicados por el solicitante.

Los parámetros de resistencia cortante reportados podrían ser reinterpretados en caso ser considerado pertinente por un profesional competente en geotecnia.

Grado de Compactación:

 Bajo ☐

 Medio ☒

 Alto ☐

 Elevado ☐

Realizado por:

Ingresado por:

Revisado por:

N° de Informe:

EHP

JGF

CSM

EPE-19.10.123

Estos datos se aplican solo a las muestras ensayadas. Los datos e información contenidos en esta hoja no pueden ser utilizados sin la autorización de Anddes Asociados S.A.C. Con la aceptación de los datos y resultados presentados en esta página, el Cliente está de acuerdo en limitar la responsabilidad de Anddes Asociados S.A.C. de cualquier reclamo que provenga del Cliente y otras partes por el uso de estos datos. Este informe no es válido sin la firma y sello del jefe del laboratorio.

Nombre del Proyecto: **Diseño de los botaderos DME 15 (km: 183+450), DME 16A (km: 187+770) y DME 19 (km: 190+200)**

 Cliente: **WSH Ingeniería y Construcción SAC**

 Ubicación del Proyecto: **Distrito: Yanahuanca - Provincia: Daniel Alcides Carrión - Región: Cerro de Pasco**

 Cód. de Muestra: **--**

 N° de Muestra: **M-2**

 Profundidad (m): **--**

 N° de Proyecto: **--**

 Zona: **Material de Desmante (DME 13)**

 N° de Informe: **EPE-19.10.123**

 Descripción: **--**

 Fecha: **23/10/2019**

 Solicitado Por: **William Segovia Herrera**

Clasificación SUCS:

GC
Estado : Remoldeado al 80 % P.M. de la Max. Densidad Seca (1,617 gr/cm3) y Opt. Contenido de humedad 10,4%

Etapas de consolidación	Inicio	Final
Altura (cm)	31,00	29,49
Diámetro (cm)	15,20	14,55
Humedad (%)	10,40	15,16
Densidad seca (gr/cm3)	1,617	1,855

Velocidad	0,025	(cm/min)
Parámetro "B"	0,96	
Presión de celda	487	kPa
Contra presión	187	kPa
Esf. Efect. Inicial	300	kPa

Deformación (%)	σ_{dev} (kPa)	μ (kPa)	p (kPa)	q (kPa)	p' (kPa)	q' (kPa)	q'/p'	(σ'_1/σ'_3)
0,00	0	0	300,0	0,0	300,0	0,0	0,00	1,00
0,05	61	11	330,7	30,7	319,3	30,7	0,10	1,21
0,10	80	15	340,0	40,0	325,0	40,0	0,12	1,28
0,15	91	19	345,7	45,7	326,8	45,7	0,14	1,32
0,20	99	23	349,5	49,5	326,8	49,5	0,15	1,36
0,25	106	26	352,8	52,8	326,5	52,8	0,16	1,39
0,35	127	36	363,3	63,3	327,8	63,3	0,19	1,48
0,50	148	50	374,2	74,2	324,3	74,2	0,23	1,59
0,75	176	74	387,8	87,8	314,2	87,8	0,28	1,78
1,00	195	95	397,4	97,4	302,8	97,4	0,32	1,95
1,25	209	113	404,3	104,3	291,4	104,3	0,36	2,11
1,50	220	128	409,9	109,9	281,7	109,9	0,39	2,28
1,75	228	141	413,8	113,8	273,1	113,8	0,42	2,43
2,00	233	151	416,7	116,7	265,4	116,7	0,44	2,57
2,50	244	167	422,0	122,0	255,1	122,0	0,48	2,83
3,00	249	177	424,3	124,3	246,9	124,3	0,50	3,03
4,00	255	190	427,6	127,6	237,4	127,6	0,54	3,33
5,00	263	196	431,5	131,5	235,2	131,5	0,56	3,54
6,00	270	200	434,9	134,9	235,4	134,9	0,57	3,68
7,00	273	201	436,5	136,5	235,1	136,5	0,58	3,77
8,00	278	202	439,2	139,2	236,9	139,2	0,59	3,85
9,00	284	203	441,8	141,8	239,2	141,8	0,59	3,91
10,00	288	203	443,8	143,8	241,2	143,8	0,60	3,95
11,00	293	203	446,7	146,7	244,0	146,7	0,60	4,02
12,00	299	203	449,6	149,6	246,9	149,6	0,61	4,07
13,00	304	203	452,1	152,1	249,2	152,1	0,61	4,13
14,00	310	203	455,2	155,2	252,1	155,2	0,62	4,20

Observaciones:

Los datos de densidad seca y humedad fueron indicados por el solicitante.

Los parámetros de resistencia cortante reportados podrían ser reinterpretados en caso ser considerado pertinente por un profesional competente en geotecnia.

Grado de Compactación:

 Bajo ☐

 Medio ☒

 Alto ☐

 Elevado ☐

Realizado por:

Ingresado por:

Revisado por:

N° de Informe:

EHP

JGF

CSM

EPE-19.10.123

Estos datos se aplican solo a las muestras ensayadas. Los datos e información contenidos en esta hoja no pueden ser utilizados sin la autorización de Anddes Asociados S.A.C. Con la aceptación de los datos y resultados presentados en esta página, el Cliente está de acuerdo en limitar la responsabilidad de Anddes Asociados S.A.C. de cualquier reclamo que provenga del Cliente y otras partes por el uso de estos datos. Este informe no es válido sin la firma y sello del jefe del laboratorio.

Nombre del Proyecto: **Diseño de los botaderos DME 15 (km: 183+450), DME 16A (km: 187+770) y DME 19 (km: 190+200)**

 Cliente: **WSH Ingeniería y Construcción SAC**

 Ubicación del Proyecto: **Distrito: Yanahuanca - Provincia: Daniel Alcides Carrión - Región: Cerro de Pasco**

 Cód. de Muestra: **--** N° de Muestra: **M-2**

 Profundidad (m): **--** N° de Proyecto: **--**

 Zona: **Material de Desmonte (DME 13)** N° de Informe: **EPE-19.10.123**

 Descripción: **--** Fecha: **23/10/2019**

 Solicitado Por: **William Segovia Herrera**

 Clasificación SUCS: **GC**
Estado : Remoldeado al 80 % P.M. de la Max. Densidad Seca (1,617 gr/cm3) y Opt. Contenido de humedad 10,4%

Etapas de consolidación	Inicio	Final
Altura (cm)	31,00	29,73
Diámetro (cm)	15,20	14,64
Humedad (%)	10,40	16,38
Densidad seca (gr/cm3)	1,617	1,818

Velocidad	0,025	(cm/min)
Parámetro "B"	0,96	
Presión de celda	337	kPa
Contra presión	187	kPa
Esf. Efect. Inicial	150	kPa

Deformación (%)	σ_{dev} (kPa)	μ (kPa)	p (kPa)	q (kPa)	p' (kPa)	q' (kPa)	q'/p'	(σ'_1/σ'_3)
0,00	0	0	150,0	0,0	150,0	0,0	0,00	1,00
0,05	49	17	174,3	24,3	157,1	24,3	0,15	1,37
0,10	60	23	180,0	30,0	156,5	30,0	0,19	1,47
0,15	66	28	183,2	33,2	155,0	33,2	0,21	1,55
0,20	72	33	186,2	36,2	153,1	36,2	0,24	1,62
0,25	76	37	188,2	38,2	151,0	38,2	0,25	1,68
0,35	83	45	191,7	41,7	146,9	41,7	0,28	1,79
0,50	91	56	195,5	45,5	139,7	45,5	0,33	1,97
0,75	99	68	199,5	49,5	131,3	49,5	0,38	2,21
1,00	104	78	202,1	52,1	124,1	52,1	0,42	2,44
1,25	107	85	203,7	53,7	118,9	53,7	0,45	2,65
1,50	109	90	204,7	54,7	114,4	54,7	0,48	2,83
1,75	110	94	205,2	55,2	111,4	55,2	0,50	2,96
2,00	112	97	205,9	55,9	108,7	55,9	0,51	3,12
2,50	113	101	206,5	56,5	105,8	56,5	0,53	3,29
3,00	114	104	206,8	56,8	102,6	56,8	0,55	3,47
4,00	116	108	208,2	58,2	100,6	58,2	0,58	3,74
5,00	118	109	209,2	59,2	100,3	59,2	0,59	3,89
6,00	121	110	210,3	60,3	100,0	60,3	0,60	4,04
7,00	124	111	211,9	61,9	100,8	61,9	0,61	4,17
8,00	126	111	213,1	63,1	102,1	63,1	0,62	4,24
9,00	130	112	214,8	64,8	103,1	64,8	0,63	4,39
10,00	132	112	216,0	66,0	103,6	66,0	0,64	4,51
11,00	135	113	217,6	67,6	104,5	67,6	0,65	4,66
12,00	137	114	218,4	68,4	104,7	68,4	0,65	4,78
13,00	141	114	220,5	70,5	106,7	70,5	0,66	4,89
14,00	144	114	222,2	72,2	107,8	72,2	0,67	5,06

Observaciones:

Los datos de densidad seca y humedad fueron indicados por el solicitante.

Los parámetros de resistencia cortante reportados podrían ser reinterpretados en caso ser considerado pertinente por un profesional competente en geotecnia.

Grado de Compactación: Bajo ☐ Medio ☒ Alto ☐ Elevado ☐

 Realizado por: **EHP** Ingresado por: **JGF** Revisado por: **CSM** N° de Informe: **EPE-19.10.123**

Estos datos se aplican solo a las muestras ensayadas. Los datos e información contenidos en esta hoja no pueden ser utilizados sin la autorización de Anddes Asociados S.A.C. Con la aceptación de los datos y resultados presentados en esta página, el Cliente está de acuerdo en limitar la responsabilidad de Anddes Asociados S.A.C. de cualquier reclamo que provenga del Cliente y otras partes por el uso de estos datos. Este informe no es válido sin la firma y sello del jefe del laboratorio.

Nombre del Proyecto: **Diseño de los botaderos DME 15 (km: 183+450), DME 16A (km: 187+770) y DME 19 (km: 190+200)**

Cliente: **WSH Ingeniería y Construcción SAC**

Ubicación del Proyecto: **Distrito: Yanahuanca - Provincia: Daniel Alcides Carrión - Región: Cerro de Pasco**

Cód. de Muestra: **--**

Nº de Muestra: **M-2**

Profundidad (m): **--**

Nº de Proyecto: **--**

Zona: **Material de Desmorte (DME 13)**

Nº de Informe: **EPE-19.10.123**

Descripción: **--**

Fecha: **23/10/2019**

Solicitado Por: **William Segovia Herrera**

Clasificación SUCS:

GC

Estado : Remoldeado al 80 % P.M. de la Max. Densidad Seca (1,617 gr/cm3) y Opt. Contenido de humedad 10,4%

Panel Fotográfico



Epecímen 150 kPa



Epecímen 300 kPa



Epecímen 600 kPa



Espécimen 150, 300 y 600 kPa

Observaciones:

Los datos de densidad seca y humedad fueron indicados por el solicitante.

Los parámetros de resistencia cortante reportados podrían ser reinterpretados en caso ser considerado pertinente por un profesional competente en geotecnia.

Grado de Compactación:

Bajo ☐

Medio ☒

Alto ☐

Elevado ☐

Realizado por:

Ingresado por:

Revisado por:

Nº de Informe:

EPE-19.10.123

EHP

JGE

CSM

Estos datos se aplican solo a las muestras ensayadas. Los datos e información contenidos en esta hoja no pueden ser utilizados sin la autorización de Anddes Asociados S.A.C. Con la aceptación de los datos y resultados presentados en esta página, el Cliente está de acuerdo en limitar la responsabilidad de Anddes Asociados S.A.C. de cualquier reclamo que provenga del Cliente y otras partes por el uso de estos datos. Este informe no es válido sin la firma y sello del jefe del laboratorio.

Nombre del proyecto: **Diseño de los botaderos DME 15 (km: 183+450), DME 16A (km: 187+770) y DME 19 (km: 190+200)**

 Cliente: **WSH Ingeniería y Construcción SAC**

 Ubicación del proyecto: **Distrito: Yanahuanca - Provincia: Daniel Alcides Carrión - Región: Cerro de Pasco**

 Código de muestra: **--** N° de muestra: **M-3**

 Profundidad (m): **--** N° de proyecto: **--**

 Zona: **Material de Desmonte (DME 13)** N° de Informe: **EPE-19.10.123**

 Descripción: **--** Fecha: **23/10/2019**

 Solicitado por: **William Segovia Herrera**

N° de Prueba	1	2	3
(1) Peso Recip + Suelo Húmedo (g)	878,6	955,1	901,1
(2) Peso Recip + Suelo Seco (g)	811,2	880,5	828,9
(3) Peso Recipiente (g)	63,2	61,8	66,5
(4) Peso del Agua (1) - (2)	67,4	74,6	72,2
(5) Peso Suelo Seco (2) - (3)	748,0	818,7	762,4
(6) Humedad (4/5)*100 %	9,0	9,1	9,5
Humedad Promedio (%)	9,2		

Observación:

Las muestras han sido proporcionadas e identificadas por el solicitante.

Realizado por:	Ingresado por:	Revisado por:	N° de informe:
MP	JGF	CSM	EPE-19.10.123

Estos datos se aplican solo a las muestras ensayadas. Los datos e información contenidos en esta hoja no pueden ser utilizados sin la autorización de Anddes Asociados S.A.C. Con la aceptación de los datos y resultados presentados en esta página, el Cliente está de acuerdo en limitar la responsabilidad de Anddes Asociados S.A.C. de cualquier reclamo que provenga del Cliente y otras partes por el uso de estos datos. Este informe no es válido sin la firma y sello del jefe del laboratorio.

Nombre del Proyecto: **Diseño de los botaderos DME 15 (km: 183+450), DME 16A (km: 187+770) y DME 19 (km: 190+200)**

 Cliente: **WSH Ingeniería y Construcción SAC**

 Ubicación del Proyecto: **Distrito: Yanahuanca - Provincia: Daniel Alcides Carrión - Región: Cerro de Pasco**

 Cód. de Muestra: **--**

 N° de Muestra: **M-3**

 Profundidad (m): **--**

 N° de Proyecto: **--**

 Zona: **Material de Desmorte (DME 13)**

 N° de Informe: **EPE-19.10.123**

 Descripción: **--**

 Fecha: **23/10/2019**

 Solicitado Por: **William Segovia Herrera**

Tamiz	Abertura (mm)	% Acumulado que pasa
3"	76,200	100,0
2"	50,800	95,2
1 1/2"	38,100	90,0
1"	25,400	85,2
3/4"	19,050	83,1
1/2"	12,700	77,7
3/8"	9,525	74,8
Nº4	4,760	68,5
Nº10	2,000	63,8
Nº20	0,850	57,6
Nº40	0,425	52,7
Nº60	0,250	49,1
Nº100	0,150	46,2
Nº140	0,106	44,6
Nº200	0,075	43,2

Partículas >3" (%)	---
Grava (%)	31,5
Arena (%)	25,3
Limos y Arcillas (%)	43,2

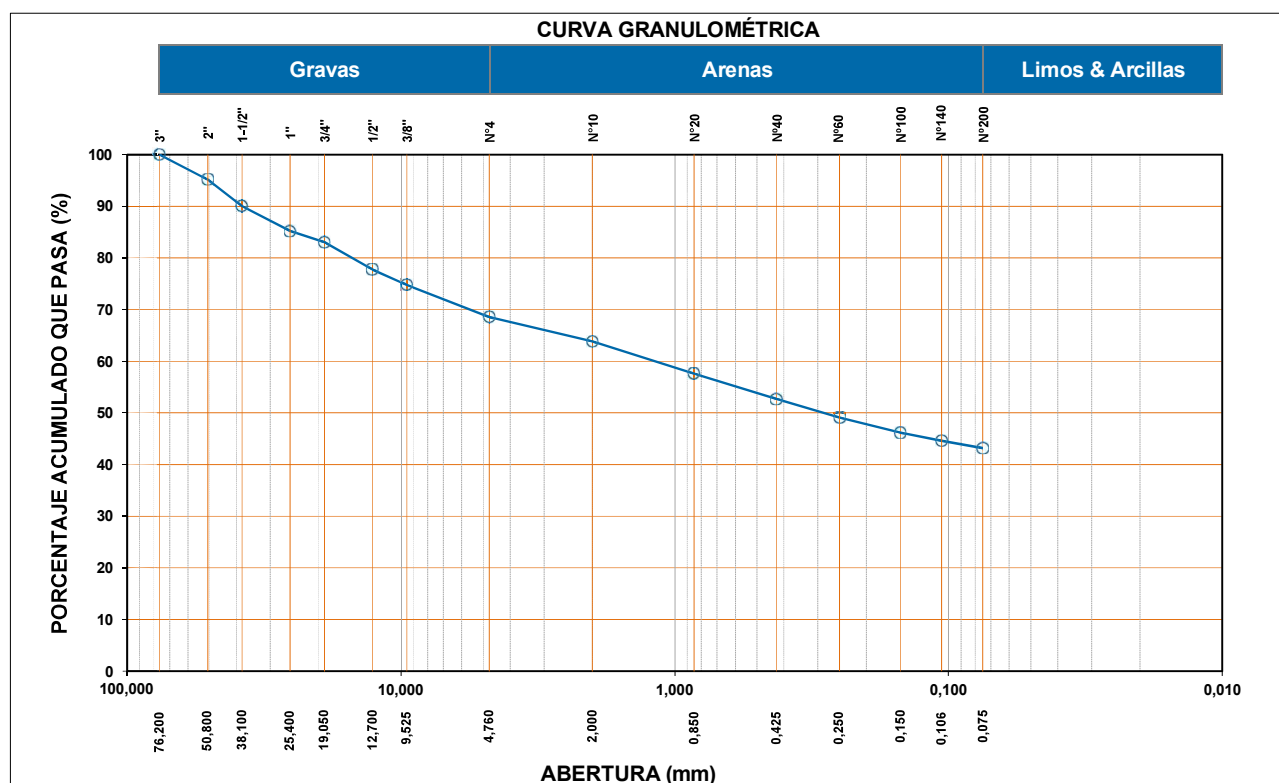
Límites de Atterberg:	
LL (%)	36
LP (%)	17
IP (%)	19

SUCS	GC
------	----

D ₁₀	
D ₃₀	
D ₆₀	1,19
Cu	
Cc	

Humedad (%)	8,1
-------------	-----

Grava arcillosa con arena



Observación: (*) No se considera la cantidad de material mínima para muestras representativas de tamaños máximos de partículas de 2" y 3"
 Las muestras han sido proporcionadas e identificadas por el solicitante.

Realizado por: MP	Ingresado por: JGF	Revisado por: CSM	N° de informe: EPE-19.10.123
--------------------------	---------------------------	--------------------------	-------------------------------------

Estos datos se aplican solo a las muestras ensayadas. Los datos e información contenidos en esta hoja no pueden ser utilizados sin la autorización de Anddes Asociados S.A.C. Con la aceptación de los datos y resultados presentados en esta página, el Cliente está de acuerdo en limitar la responsabilidad de Anddes Asociados S.A.C. de cualquier reclamo que provenga del Cliente y otras partes por el uso de estos datos. Este informe no es válido sin la firma y sello del jefe del laboratorio.

Nombre del Proyecto: **Diseño de los botaderos DME 15 (km: 183+450), DME 16A (km: 187+770) y DME 19 (km: 190+200)**

Cliente: **WSH Ingeniería y Construcción SAC**

Ubicación del Proyecto: **Distrito: Yanahuanca - Provincia: Daniel Alcides Carrión - Región: Cerro de Pasco**

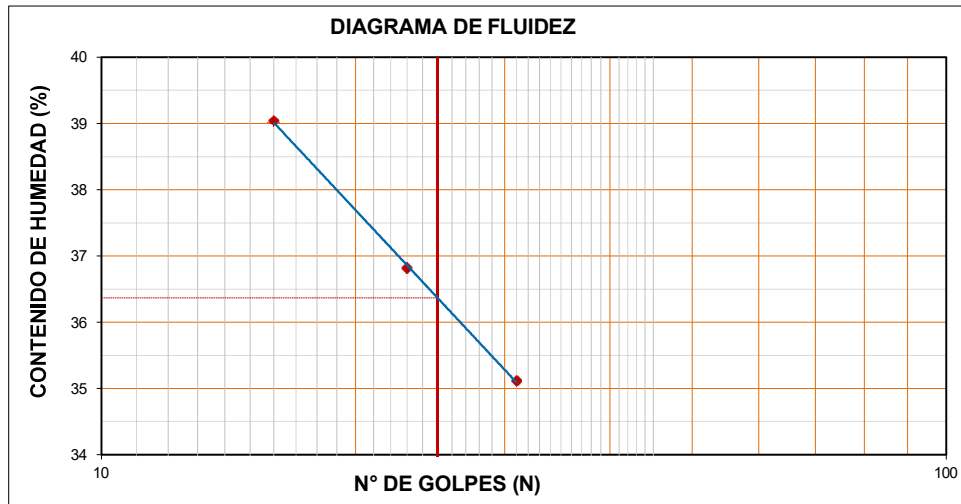
Cód. de Muestra: **--** N° de Muestra: **M-3**

Profundidad (m): **--** N° de Proyecto: **--**

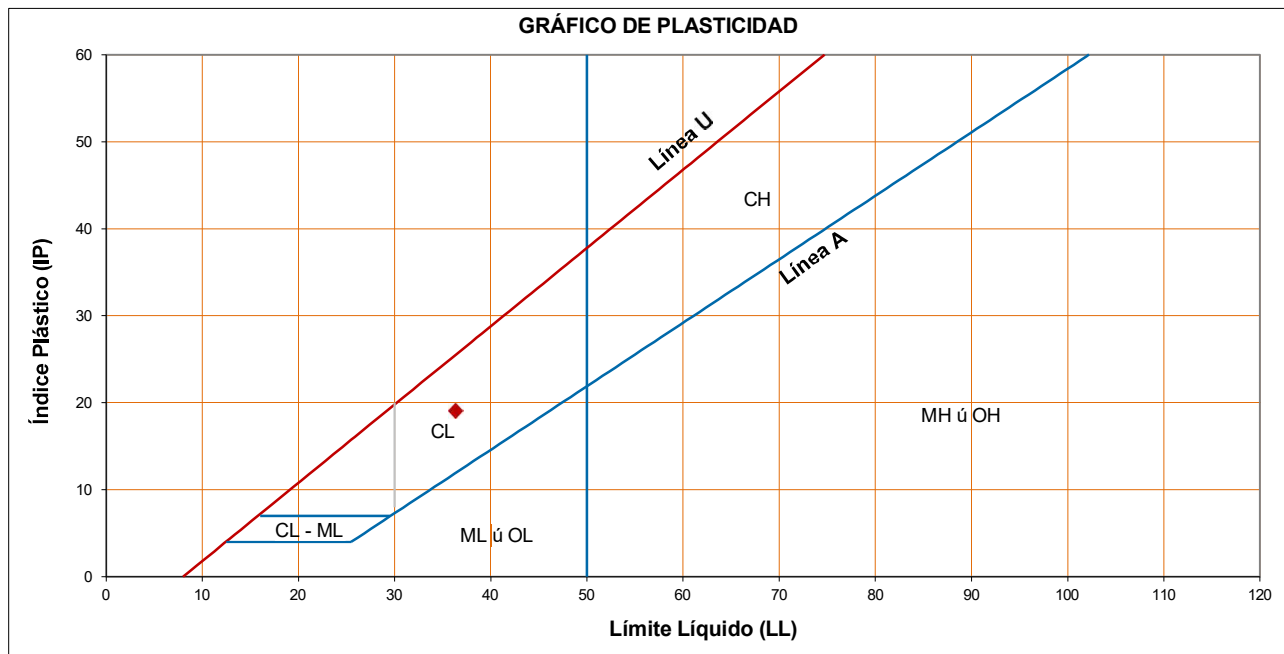
Zona: **Material de Desmonte (DME 13)** N° de Informe: **EPE-19.10.123**

Descripción: **--** Fecha: **23/10/2019**

Solicitado Por: **William Segovia Herrera**



Límites de Atterberg	
LL (%)	36
LP (%)	17
IP (%)	19



Observación:

Las muestras han sido proporcionadas e identificadas por el solicitante.

Realizado por: **MR** Ingresado por: **JGF** Revisado por: **CSM** N° de informe: **EPE-19.10.123**

Estos datos se aplican solo a las muestras ensayadas. Los datos e información contenidos en esta hoja no pueden ser utilizados sin la autorización de Anddes Asociados S.A.C. Con la aceptación de los datos y resultados presentados en esta página, el Cliente está de acuerdo en limitar la responsabilidad de Anddes Asociados S.A.C. de cualquier reclamo que provenga del Cliente y otras partes por el uso de estos datos. Este informe no es válido sin la firma y sello del jefe del laboratorio.

Nombre del Proyecto: **Diseño de los botaderos DME 15 (km: 183+450), DME 16A (km: 187+770) y DME 19 (km: 190+200)**

 Cliente: **WSH Ingeniería y Construcción SAC**

 Ubicación del Proyecto: **Distrito: Yanahuanca - Provincia: Daniel Alcides Carrión - Región: Cerro de Pasco**

 Cód. de Muestra: **--**

 N° de Muestra: **M-3**

 Profundidad (m): **--**

 N° de Proyecto: **--**

 Zona: **Material de Desmonte (DME 13)**

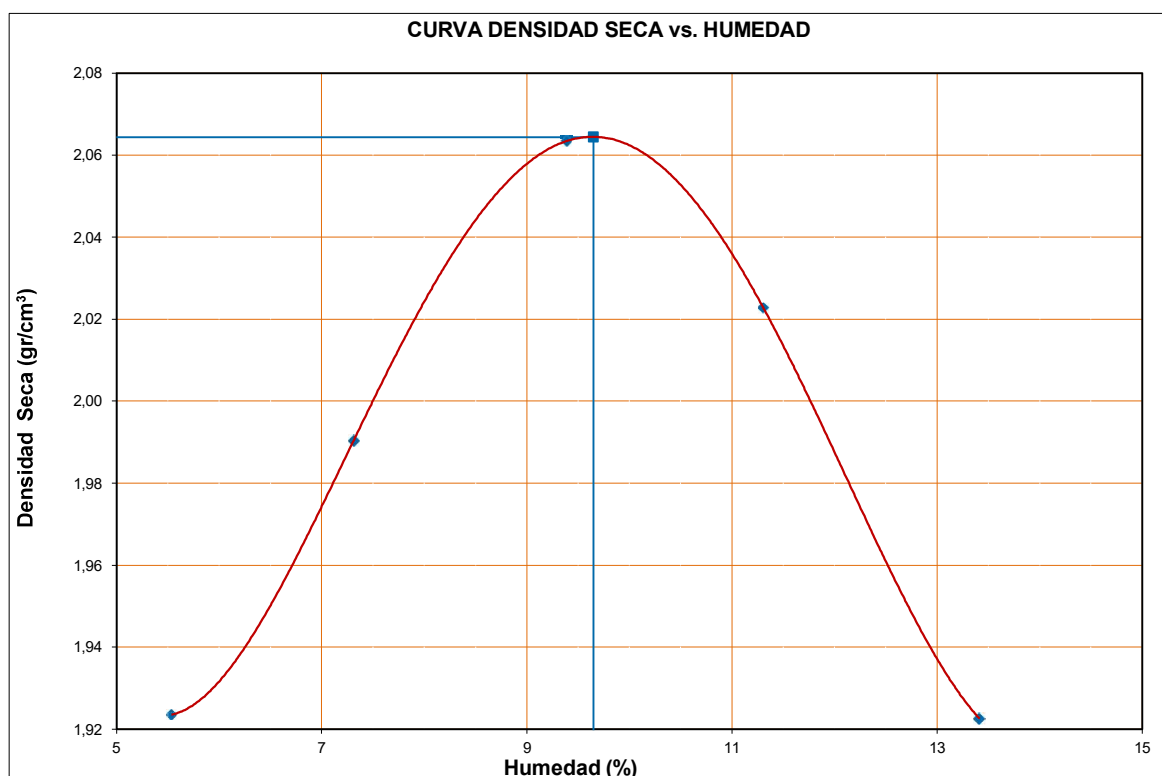
 N° de Informe: **EPE-19.10.123**

 Descripción: **--**

 Fecha: **23/10/2019**

 Solicitado Por: **William Segovia Herrera**

Prueba N°	1	2	3	4	5	6	7
Densidad seca (gr/cm ³)	1,924	1,990	2,063	2,023	1,923		
Humedad(%)	5,5	7,3	9,4	11,3	13,4		



Máxima Densidad Seca (gr/cm ³)	2,064
Optimo Contenido de Humedad (%)	9,7

Fraccion Sobre tamaño		
GS (Bulk)	=	2,49
w(%)	=	1,3

Máx. Dens. Seca Corregida (gr/cm ³)	2,126
Opt. Cont. de Humedad Corregida (%)	8,2

Observación:

Las muestras han sido proporcionadas e identificadas por el solicitante.

Realizado por:

MP

Ingresado por:

JGF

Revisado por:

CSM

N° de informe:

EPE-19.10.123

Estos datos se aplican solo a las muestras ensayadas. Los datos e información contenidos en esta hoja no pueden ser utilizados sin la autorización de Anddes Asociados S.A.C. Con la aceptación de los datos y resultados presentados en esta página, el Cliente está de acuerdo en limitar la responsabilidad de Anddes Asociados S.A.C. de cualquier reclamo que provenga del Cliente y otras partes por el uso de estos datos. Este informe no es válido sin la firma y sello del jefe del laboratorio.

Nombre del Proyecto: **Diseño de los botaderos DME 15 (km: 183+450), DME 16A (km: 187+770) y DME 19 (km: 190+200)**

Cliente: **WSH Ingeniería y Construcción SAC**

Ubicación del Proyecto: **Distrito: Yanahuanca - Provincia: Daniel Alcides Carrión - Región: Cerro de Pasco**

Cód. de Muestra: **--**

Nº de Muestra: **M-3**

Profundidad (m): **--**

Nº de Proyecto: **--**

Zona: **Material de Desmorte (DME 13)**

Nº de Informe: **EPE-19.10.123**

Descripción: **--**

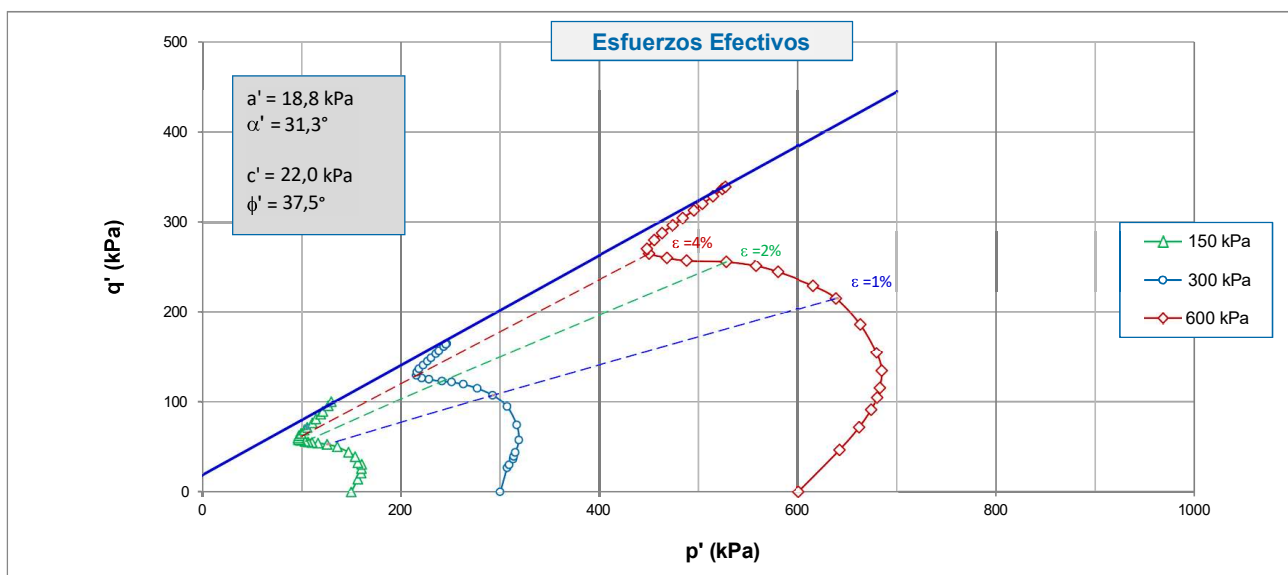
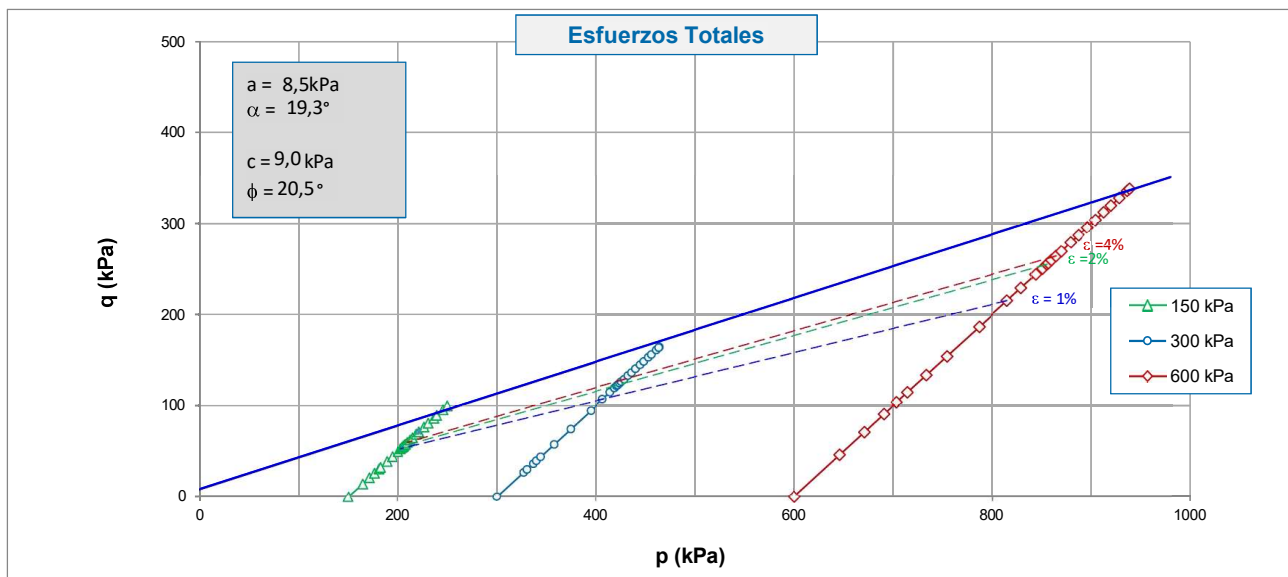
Fecha: **23/10/2019**

Solicitado Por: **William Segovia Herrera**

Clasificación SUCS:

GC

Estado : Remoldeado al 80 % P.M. de la Max. Densidad Seca (1,684 gr/cm3) y Opt. Contenido de humedad 8,7%



Observaciones:

Los datos de densidad seca y humedad fueron indicados por el solicitante.

Los parámetros de resistencia cortante reportados podrían ser reinterpretados en caso de ser considerado pertinente por un profesional competente en geotecnia.

Grado de Compactación:

Bajo ☐

Medio ☒

Alto ☐

Elevado ☐

Realizado por:

EHP

Ingresado por:

JGF

Revisado por:

CSM

Nº de Informe:

EPE-19.10.123

Estos datos se aplican solo a las muestras ensayadas. Los datos e información contenidos en esta hoja no pueden ser utilizados sin la autorización de Anddes Asociados S.A.C. Con la aceptación de los datos y resultados presentados en esta página, el Cliente está de acuerdo en limitar la responsabilidad de Anddes Asociados S.A.C. de cualquier reclamo que provenga del Cliente y otras partes por el uso de estos datos. Este informe no es válido sin la firma y sello del jefe del laboratorio.

Nombre del Proyecto: **Diseño de los botaderos DME 15 (km: 183+450), DME 16A (km: 187+770) y DME 19 (km: 190+200)**

Cliente: **WSH Ingeniería y Construcción SAC**

Ubicación del Proyecto: **Distrito: Yanahuanca - Provincia: Daniel Alcides Carrión - Región: Cerro de Pasco**

Cód. de Muestra: **--**

Nº de Muestra: **M-3**

Profundidad (m): **--**

Nº de Proyecto: **--**

Zona: **Material de Desmorte (DME 13)**

Nº de Informe: **EPE-19.10.123**

Descripción: **--**

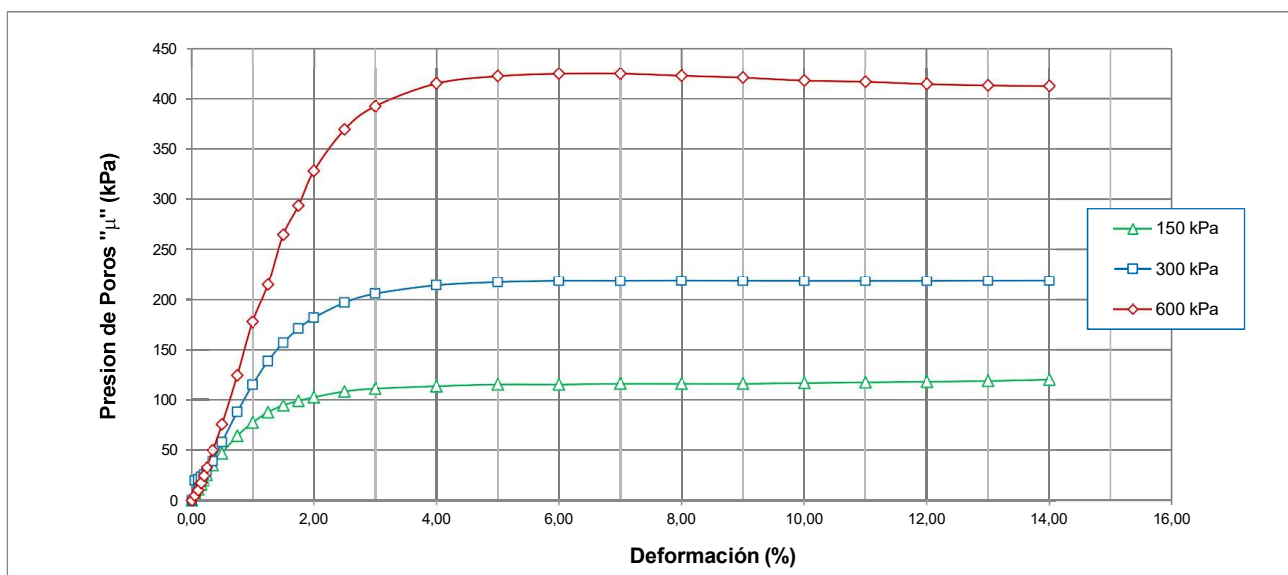
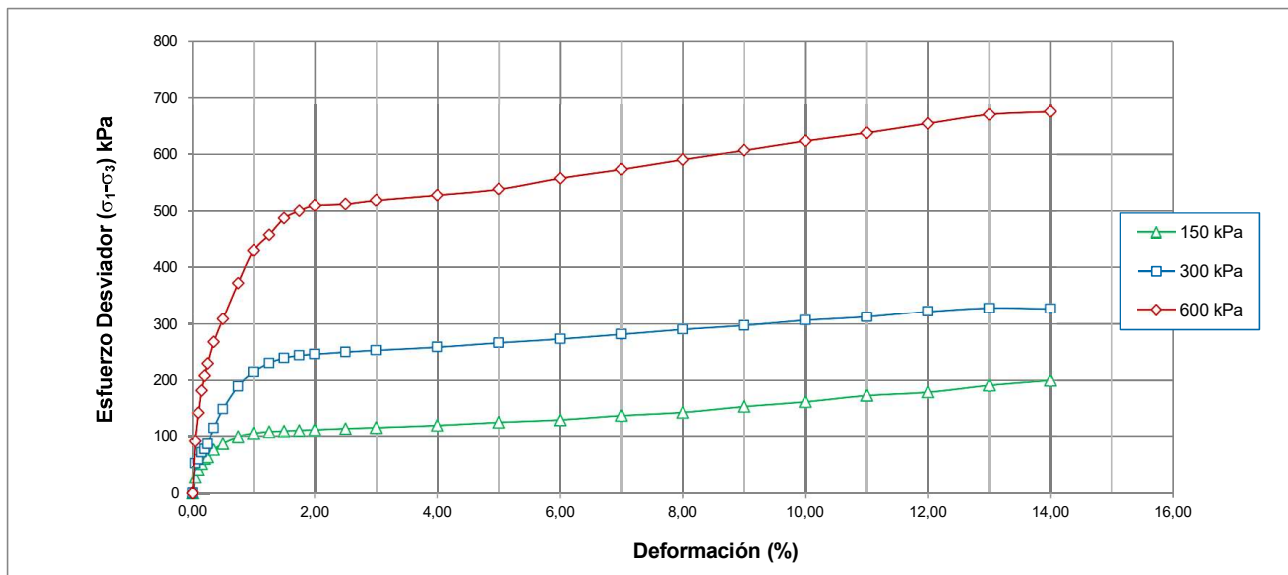
Fecha: **23/10/2019**

Solicitado Por: **William Segovia Herrera**

Clasificación SUCS:

GC

Estado : Remoldeado al 80 % P.M. de la Max. Densidad Seca (1,684 gr/cm3) y Opt. Contenido de humedad 8,7%



Observaciones:

Los datos de densidad seca y humedad fueron indicados por el solicitante.

Los parámetros de resistencia cortante reportados podrían ser reinterpretados en caso de ser considerado pertinente por un profesional competente en geotecnia.

Grado de Compactación: Bajo ☐ Medio ☒ Alto ☐ Elevado ☐

Realizado por:

EHP

Ingresado por:

JGF

Revisado por:

CSM

Nº de Informe:

EPE-19.10.123

Estos datos se aplican solo a las muestras ensayadas. Los datos e información contenidos en esta hoja no pueden ser utilizados sin la autorización de Anddes Asociados S.A.C. Con la aceptación de los datos y resultados presentados en esta página, el Cliente está de acuerdo en limitar la responsabilidad de Anddes Asociados S.A.C. de cualquier reclamo que provenga del Cliente y otras partes por el uso de estos datos. Este informe no es válido sin la firma y sello del jefe del laboratorio.

Nombre del Proyecto: **Diseño de los botaderos DME 15 (km: 183+450), DME 16A (km: 187+770) y DME 19 (km: 190+200)**

 Cliente: **WSH Ingeniería y Construcción SAC**

 Ubicación del Proyecto: **Distrito: Yanahuanca - Provincia: Daniel Alcides Carrión - Región: Cerro de Pasco**

 Cód. de Muestra: **--**

 N° de Muestra: **M-3**

 Profundidad (m): **--**

 N° de Proyecto: **--**

 Zona: **Material de Desmonte (DME 13)**

 N° de Informe: **EPE-19.10.123**

 Descripción: **--**

 Fecha: **23/10/2019**

 Solicitado Por: **William Segovia Herrera**

Clasificación SUCS:

GC
Estado : Remoldeado al 80 % P.M. de la Max. Densidad Seca (1,684 gr/cm3) y Opt. Contenido de humedad 8,7%

Etapas de consolidación	Inicio	Final
Altura (cm)	31,00	29,40
Diámetro (cm)	15,20	14,82
Humedad (%)	8,70	10,32
Densidad seca (gr/cm3)	1,684	1,868

Velocidad	0,025	(cm/min)
Parámetro "B"	0,97	
Presión de celda	787	kPa
Contra presión	187	kPa
Esf. Efect. Inicial	600	kPa

Deformación (%)	σ_{dev} (kPa)	μ (kPa)	p (kPa)	q (kPa)	p' (kPa)	q' (kPa)	q'/p'	(σ'_1/σ'_3)
0,00	0	0	600,0	0,0	600,0	0,0	0,00	1,00
0,05	93	5	646,3	46,3	641,5	46,3	0,07	1,16
0,10	142	10	671,2	71,2	661,2	71,2	0,11	1,24
0,15	182	17	690,8	90,8	673,4	90,8	0,13	1,31
0,20	208	25	704,0	104,0	679,4	104,0	0,15	1,36
0,25	229	33	714,7	114,7	682,1	114,7	0,17	1,40
0,35	267	50	733,7	133,7	684,1	133,7	0,20	1,49
0,50	309	75	754,3	154,3	678,9	154,3	0,23	1,59
0,75	373	124	786,5	186,5	662,4	186,5	0,28	1,78
1,00	431	177	815,4	215,4	638,1	215,4	0,34	2,02
1,25	459	214	829,3	229,3	614,9	229,3	0,37	2,19
1,50	488	265	844,0	244,0	579,4	244,0	0,42	2,46
1,75	501	293	850,6	250,6	557,2	250,6	0,45	2,63
2,00	510	328	855,0	255,0	527,4	255,0	0,48	2,87
2,50	513	369	856,3	256,3	487,8	256,3	0,53	3,22
3,00	519	392	859,5	259,5	467,9	259,5	0,55	3,49
4,00	528	414	864,1	264,1	450,1	264,1	0,59	3,84
5,00	539	421	869,4	269,4	448,1	269,4	0,60	4,01
6,00	558	424	879,1	279,1	455,4	279,1	0,61	4,17
7,00	574	424	887,0	287,0	463,1	287,0	0,62	4,26
8,00	591	422	895,6	295,6	473,8	295,6	0,62	4,32
9,00	607	420	903,7	303,7	483,9	303,7	0,63	4,37
10,00	624	417	912,1	312,1	495,1	312,1	0,63	4,41
11,00	639	416	919,4	319,4	503,6	319,4	0,63	4,47
12,00	655	413	927,7	327,7	514,2	327,7	0,64	4,51
13,00	671	412	935,6	335,6	523,4	335,6	0,64	4,57
14,00	676	411	938,2	338,2	526,7	338,2	0,64	4,59

Observaciones:

Los datos de densidad seca y humedad fueron indicados por el solicitante.

Los parámetros de resistencia cortante reportados podrían ser reinterpretados en caso ser considerado pertinente por un profesional competente en geotecnia.

Grado de Compactación:

 Bajo ☐

 Medio ☒

 Alto ☐

 Elevado ☐

Realizado por:

Ingresado por:

Revisado por:

N° de Informe:

EHP

JGF

CSM

EPE-19.10.123

Estos datos se aplican solo a las muestras ensayadas. Los datos e información contenidos en esta hoja no pueden ser utilizados sin la autorización de Anddes Asociados S.A.C. Con la aceptación de los datos y resultados presentados en esta página, el Cliente está de acuerdo en limitar la responsabilidad de Anddes Asociados S.A.C. de cualquier reclamo que provenga del Cliente y otras partes por el uso de estos datos. Este informe no es válido sin la firma y sello del jefe del laboratorio.

Nombre del Proyecto: **Diseño de los botaderos DME 15 (km: 183+450), DME 16A (km: 187+770) y DME 19 (km: 190+200)**

 Cliente: **WSH Ingeniería y Construcción SAC**

 Ubicación del Proyecto: **Distrito: Yanahuanca - Provincia: Daniel Alcides Carrión - Región: Cerro de Pasco**

 Cód. de Muestra: **--**

 N° de Muestra: **M-3**

 Profundidad (m): **--**

 N° de Proyecto: **--**

 Zona: **Material de Desmonte (DME 13)**

 N° de Informe: **EPE-19.10.123**

 Descripción: **--**

 Fecha: **23/10/2019**

 Solicitado Por: **William Segovia Herrera**

Clasificación SUCS:

GC
Estado : Remoldeado al 80 % P.M. de la Max. Densidad Seca (1,684 gr/cm3) y Opt. Contenido de humedad 8,7%

Etapas de consolidación	Inicio	Final
Altura (cm)	31,00	29,63
Diámetro (cm)	15,20	14,88
Humedad (%)	8,70	12,80
Densidad seca (gr/cm3)	1,684	1,838

Velocidad	0,025	(cm/min)
Parámetro "B"	0,95	
Presión de celda	487	kPa
Contra presión	187	kPa
Esf. Efect. Inicial	300	kPa

Deformación (%)	σ_{dev} (kPa)	μ (kPa)	p (kPa)	q (kPa)	p' (kPa)	q' (kPa)	q'/p'	(σ'_1/σ'_3)
0,00	0	0	300,0	0,0	300,0	0,0	0,00	1,00
0,05	53	20	326,7	26,7	306,9	26,7	0,09	1,19
0,10	60	21	330,2	30,2	309,2	30,2	0,10	1,22
0,15	73	24	336,5	36,5	313,0	36,5	0,12	1,26
0,20	79	26	339,6	39,6	313,7	39,6	0,13	1,29
0,25	88	29	343,9	43,9	315,1	43,9	0,14	1,32
0,35	115	39	357,6	57,6	318,8	57,6	0,18	1,44
0,50	149	58	374,4	74,4	316,6	74,4	0,23	1,61
0,75	189	88	394,7	94,7	307,0	94,7	0,31	1,89
1,00	215	115	407,3	107,3	292,5	107,3	0,37	2,16
1,25	230	138	415,0	115,0	276,8	115,0	0,42	2,42
1,50	239	157	419,5	119,5	263,0	119,5	0,45	2,67
1,75	243	171	421,7	121,7	251,1	121,7	0,48	2,88
2,00	246	181	422,8	122,8	241,5	122,8	0,51	3,07
2,50	249	196	424,7	124,7	228,4	124,7	0,55	3,41
3,00	253	205	426,3	126,3	221,1	126,3	0,57	3,66
4,00	258	214	429,1	129,1	215,5	129,1	0,60	3,99
5,00	266	217	433,0	133,0	216,2	133,0	0,62	4,20
6,00	273	218	436,5	136,5	218,5	136,5	0,62	4,33
7,00	281	218	440,6	140,6	222,6	140,6	0,63	4,43
8,00	290	218	444,9	144,9	226,7	144,9	0,64	4,54
9,00	297	218	448,6	148,6	230,6	148,6	0,64	4,62
10,00	306	218	453,2	153,2	235,3	153,2	0,65	4,73
11,00	313	218	456,3	156,3	238,4	156,3	0,66	4,81
12,00	322	218	461,1	161,1	243,2	161,1	0,66	4,93
13,00	329	218	464,3	164,3	246,2	164,3	0,67	5,01
14,00	327	218	463,6	163,6	245,4	163,6	0,67	5,00

Observaciones:

Los datos de densidad seca y humedad fueron indicados por el solicitante.

Los parámetros de resistencia cortante reportados podrían ser reinterpretados en caso ser considerado pertinente por un profesional competente en geotecnia.

Grado de Compactación:

 Bajo ☐

 Medio ☒

 Alto ☐

 Elevado ☐

Realizado por:

Ingresado por:

Revisado por:

N° de Informe:

EHP

JGF

CSM

EPE-19.10.123

Estos datos se aplican solo a las muestras ensayadas. Los datos e información contenidos en esta hoja no pueden ser utilizados sin la autorización de Anddes Asociados S.A.C. Con la aceptación de los datos y resultados presentados en esta página, el Cliente está de acuerdo en limitar la responsabilidad de Anddes Asociados S.A.C. de cualquier reclamo que provenga del Cliente y otras partes por el uso de estos datos. Este informe no es válido sin la firma y sello del jefe del laboratorio.

Nombre del Proyecto: **Diseño de los botaderos DME 15 (km: 183+450), DME 16A (km: 187+770) y DME 19 (km: 190+200)**

 Cliente: **WSH Ingeniería y Construcción SAC**

 Ubicación del Proyecto: **Distrito: Yanahuanca - Provincia: Daniel Alcides Carrión - Región: Cerro de Pasco**

 Cód. de Muestra: **--** N° de Muestra: **M-3**

 Profundidad (m): **--** N° de Proyecto: **--**

 Zona: **Material de Desmonte (DME 13)** N° de Informe: **EPE-19.10.123**

 Descripción: **--** Fecha: **23/10/2019**

 Solicitado Por: **William Segovia Herrera**

 Clasificación SUCS: **GC**
Estado : Remoldeado al 80 % P.M. de la Max. Densidad Seca (1,684 gr/cm3) y Opt. Contenido de humedad 8,7%

Etapas de consolidación	Inicio	Final
Altura (cm)	31,00	29,83
Diámetro (cm)	15,20	15,03
Humedad (%)	8,70	14,90
Densidad seca (gr/cm3)	1,684	1,791

Velocidad	0,025	(cm/min)
Parámetro "B"	0,95	
Presión de celda	337	kPa
Contra presión	187	kPa
Esf. Efect. Inicial	150	kPa

Deformación (%)	σ_{dev} (kPa)	μ (kPa)	p (kPa)	q (kPa)	p' (kPa)	q' (kPa)	q'/p'	(σ'_1/σ'_3)
0,00	0	0	150,0	0,0	150,0	0,0	0,00	1,00
0,05	29	8	164,4	14,4	156,8	14,4	0,09	1,20
0,10	42	11	171,1	21,1	160,1	21,1	0,13	1,30
0,15	52	16	176,2	26,2	160,3	26,2	0,16	1,39
0,20	61	20	180,7	30,7	160,7	30,7	0,19	1,47
0,25	65	26	182,3	32,3	156,8	32,3	0,21	1,52
0,35	78	35	189,1	39,1	153,9	39,1	0,25	1,68
0,50	89	47	194,3	44,3	147,4	44,3	0,30	1,86
0,75	100	64	200,1	50,1	136,0	50,1	0,37	2,17
1,00	106	77	203,0	53,0	125,8	53,0	0,42	2,46
1,25	109	88	204,3	54,3	116,7	54,3	0,47	2,74
1,50	110	94	205,0	55,0	110,5	55,0	0,50	2,98
1,75	111	99	205,6	55,6	106,7	55,6	0,52	3,17
2,00	112	102	206,1	56,1	103,6	56,1	0,54	3,36
2,50	114	108	207,2	57,2	98,9	57,2	0,58	3,74
3,00	116	111	208,0	58,0	97,0	58,0	0,60	3,97
4,00	120	113	209,9	59,9	96,6	59,9	0,62	4,27
5,00	125	115	212,7	62,7	97,5	62,7	0,64	4,60
6,00	130	115	214,9	64,9	99,8	64,9	0,65	4,72
7,00	137	116	218,7	68,7	102,8	68,7	0,67	5,02
8,00	143	116	221,6	71,6	105,7	71,6	0,68	5,19
9,00	153	116	226,7	76,7	110,9	76,7	0,69	5,49
10,00	162	117	231,0	81,0	114,5	81,0	0,71	5,84
11,00	173	117	236,5	86,5	119,3	86,5	0,73	6,28
12,00	179	118	239,5	89,5	121,6	89,5	0,74	6,58
13,00	191	119	245,6	95,6	127,0	95,6	0,75	7,09
14,00	200	120	250,0	100,0	130,1	100,0	0,77	7,66

Observaciones:

Los datos de densidad seca y humedad fueron indicados por el solicitante.

Los parámetros de resistencia cortante reportados podrían ser reinterpretados en caso ser considerado pertinente por un profesional competente en geotecnia.

Grado de Compactación: Bajo ☐ Medio ☒ Alto ☐ Elevado ☐

 Realizado por: **EHP** Ingresado por: **JGF** Revisado por: **CSM** N° de Informe: **EPE-19.10.123**

Estos datos se aplican solo a las muestras ensayadas. Los datos e información contenidos en esta hoja no pueden ser utilizados sin la autorización de Anddes Asociados S.A.C. Con la aceptación de los datos y resultados presentados en esta página, el Cliente está de acuerdo en limitar la responsabilidad de Anddes Asociados S.A.C. de cualquier reclamo que provenga del Cliente y otras partes por el uso de estos datos. Este informe no es válido sin la firma y sello del jefe del laboratorio.

Nombre del Proyecto: **Diseño de los botaderos DME 15 (km: 183+450), DME 16A (km: 187+770) y DME 19 (km: 190+200)**

Cliente: **WSH Ingeniería y Construcción SAC**

Ubicación del Proyecto: **Distrito: Yanahuanca - Provincia: Daniel Alcides Carrión - Región: Cerro de Pasco**

Cód. de Muestra: **--**

Nº de Muestra: **M-3**

Profundidad (m): **--**

Nº de Proyecto: **--**

Zona: **Material de Desmorte (DME 13)**

Nº de Informe: **EPE-19.10.123**

Descripción: **--**

Fecha: **23/10/2019**

Solicitado Por: **William Segovia Herrera**

Clasificación SUCS:

GC

Estado : Remoldeado al 80 % P.M. de la Max. Densidad Seca (1,684 gr/cm3) y Opt. Contenido de humedad 8,7%

Panel Fotográfico



Especimen 150 kPa



Especimen 300 kPa



Especimen 600 kPa



Especimen 150, 300 y 600 kPa

Observaciones:

Los datos de densidad seca y humedad fueron indicados por el solicitante.

Los parámetros de resistencia cortante reportados podrían ser reinterpretados en caso ser considerado pertinente por un profesional competente en geotecnia.

Grado de Compactación:

Bajo ☐

Medio ☒

Alto ☐

Elevado ☐

Realizado por:

Ingresado por:

Revisado por:

Nº de Informe:

EHP

JGF

CSM

EPE-19.10.123

Estos datos se aplican solo a las muestras ensayadas. Los datos e información contenidos en esta hoja no pueden ser utilizados sin la autorización de Anddes Asociados S.A.C. Con la aceptación de los datos y resultados presentados en esta página, el Cliente está de acuerdo en limitar la responsabilidad de Anddes Asociados S.A.C. de cualquier reclamo que provenga del Cliente y otras partes por el uso de estos datos. Este informe no es válido sin la firma y sello del jefe del laboratorio.

Nombre del proyecto: **Diseño de los botaderos DME 15 (km: 183+450), DME 16A (km: 187+770) y DME 19 (km: 190+200)**

Cliente: **WSH Ingeniería y Construcción SAC**

Ubicación del proyecto: **Distrito: Yanahuanca - Provincia: Daniel Alcides Carrión - Región: Cerro de Pasco**

Cód. de muestra: **--**

Nº de muestra: **15**

Profundidad (m): **--**

Nº de proyecto: **--**

Zona: **Botadero DME 15 (km: 183+450)**

Nº de Informe: **EPE-19.10.123**

Descripción: **--**

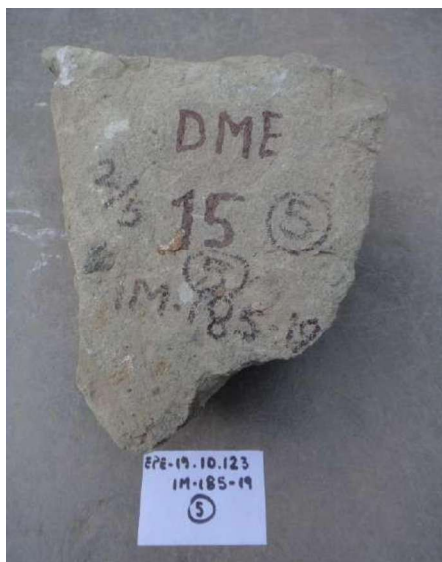
Fecha: **23/10/2019**

Solicitado por: **William Segovia Herrera**

Descripción de la Muestra	
Código de Muestra	Profundidad (m)
--	--

Resultados				
Densidad Húmeda (gr/cm³)	Densidad Seca (gr/cm³)	Porosidad Aparente (%)	Absorción (%)	Peso Específico Aparente (kN/m³)
2,44	2,40	9,33	3,91	23,57

Panel Fotográfico.



Muestras proporcionadas por el cliente.



Muestras después del ensayo.

Observación:

Las muestras han sido proporcionadas e identificadas por el solicitante.

Realizado por: **EH** Ingresado por: **ZAS** Revisado por: **CSM** Nº de informe: **EPE-19.10.123**

Estos datos se aplican solo a las muestras ensayadas. Los datos e información contenidos en esta hoja no pueden ser utilizados sin la autorización de Anddes Asociados S.A.C. Con la aceptación de los datos y resultados presentados en esta página, el Cliente está de acuerdo en limitar la responsabilidad de Anddes Asociados S.A.C. de cualquier reclamo que provenga del Cliente y otras partes por el uso de estos datos. Este informe no es válido sin la firma y sello del jefe del laboratorio.

Nombre del Proyecto: **Diseño de los botaderos DME 15 (km: 183+450), DME 16A (km: 187+770) y DME 19 (km: 190+200)**

Cliente: **WSH Ingeniería y Construcción SAC**

Ubicación del Proyecto: **Distrito: Yanahuanca - Provincia: Daniel Alcides Carrión - Región: Cerro de Pasco**

Cód. de Muestra: **--** N° de Muestra: **15**

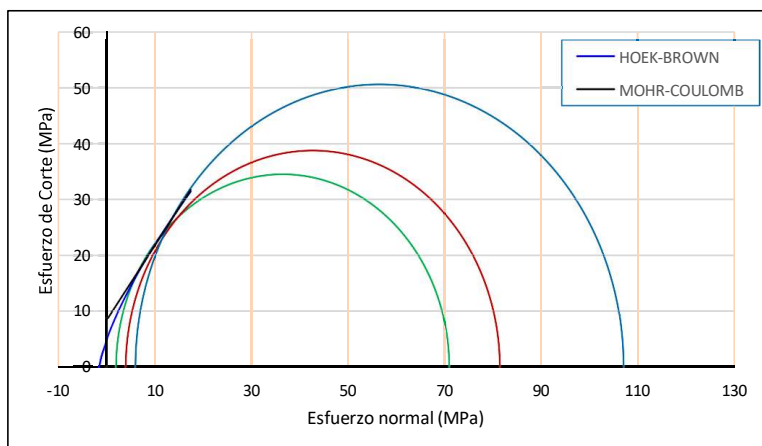
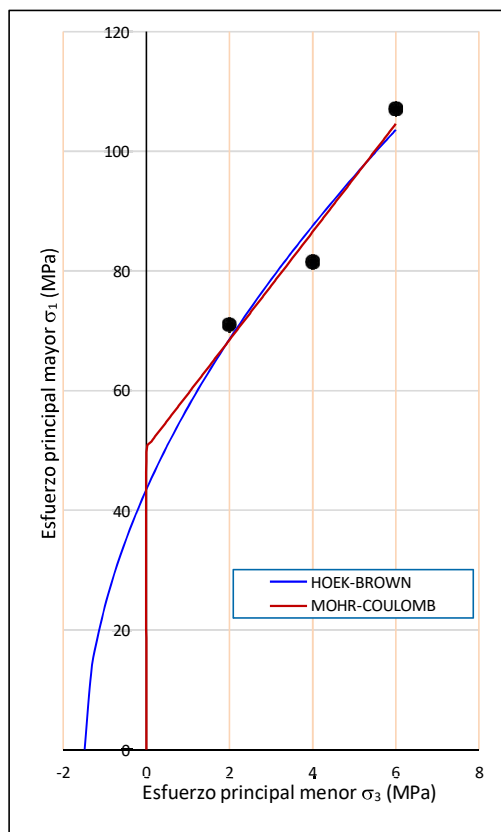
Profundidad (m): **--** N° de Proyecto: **--**

Zona: **Botadero DME 15 (km: 183+450)** N° de Informe: **EPE-19.10.123**

Descripción: **--** Fecha: **23/10/2019**

Solicitado Por: **William Segovia Herrera**

Tipo de Falla	Diámetro (cm)	Altura (cm)	Conf. σ_3 (MPa)	Carga de rotura (kN)	Esfuerzo de rotura σ_1 (MPa)	Resistencia a la Comp. Uniaxial (MPa)	Constante "mi"	Cohesión (MPa)	Ángulo de fricción interno (°)
1	6,29	13,13	2	220,4	71,0	43,5	29,2	8,4	53,2
1	6,28	12,99	4	252,2	81,5				
2	6,28	13,03	6	331,5	107,1				



Hoek-Brown		
Clasificación	GSI	100
	D	0
	σ_{ci} (MPa)	43,5
Criterio	mi	29,2
	mb	29,2
	s	1
Ajuste Mohr Coulomb	a	0,5
	ϕ (°)	57,0
	c (MPa)	6,1
Parámetros del macizo rocoso	σ_t (MPa)	-1,5
	E (MPa)	117285

Mohr-Coulomb		
Criterio	ϕ (°)	53,2
	c (MPa)	8,4
	σ_{ci} (MPa)	50,4

Tipos de falla

01. Plano de corte diagonal
02. Fractura vertical
03. División vertical
04. Corte a lo largo de un plano de falla preexistente o fisura
05. Falla cónica
06. Deprendimiento
07. Otros

Observación:

Las muestras han sido proporcionadas e identificadas por el solicitante.

Realizado por:	Ingresado por:	Revisado por:	N° de informe:
JFG	JGF	CSM	EPE-19.10.123

Estos datos se aplican solo a las muestras ensayadas. Los datos e información contenidos en esta hoja no pueden ser utilizados sin la autorización de Anddes Asociados S.A.C. Con la aceptación de los datos y resultados presentados en esta página, el Cliente está de acuerdo en limitar la responsabilidad de Anddes Asociados S.A.C. de cualquier reclamo que provenga del Cliente y otras partes por el uso de estos datos. Este informe no es válido sin la firma y sello del jefe del laboratorio.

Nombre del Proyecto: **Diseño de los botaderos DME 15 (km: 183+450), DME 16A (km: 187+770) y DME 19 (km: 190+200)**

Cliente: **WSH Ingeniería y Construcción SAC**

Ubicación del Proyecto: **Distrito: Yanahuanca - Provincia: Daniel Alcides Carrión - Región: Cerro de Pasco**

Cód. de Muestra: **--**

Nº de Muestra: **15**

Profundidad (m): **--**

Nº de Proyecto: **--**

Zona: **Botadero DME 15 (km: 183+450)**

Nº de Informe: **EPE-19.10.123**

Descripción: **--**

Fecha: **23/10/2019**

Solicitado Por: **William Segovia Herrera**

Panel fotográfico

Antes del ensayo



Después del ensayo



Observación:

Las muestras han sido proporcionadas e identificadas por el solicitante.

Realizado por:

Ingresado por:

Revisado por:

Nº de informe:

JFG

JGF

CSM

EPE-19.10.123

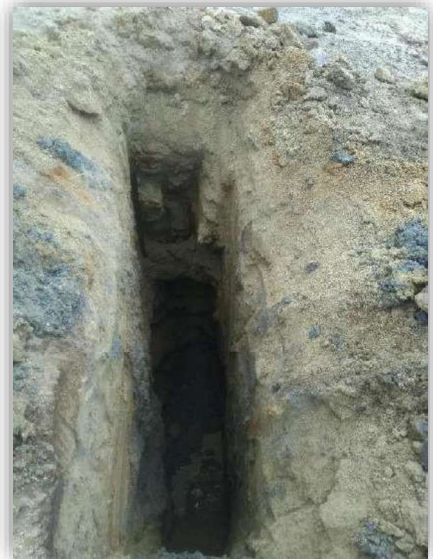
Estos datos se aplican solo a las muestras ensayadas. Los datos e información contenidos en esta hoja no pueden ser utilizados sin la autorización de Anddes Asociados S.A.C. Con la aceptación de los datos y resultados presentados en esta página, el Cliente está de acuerdo en limitar la responsabilidad de Anddes Asociados S.A.C. de cualquier reclamo que provenga del Cliente y otras partes por el uso de estos datos. Este informe no es válido sin la firma y sello del jefe del laboratorio.

PANEL FOTOGRÁFICO – DME 15 (Km: 183+450)

C-1



Vista panoramica de la ubicacion de la calicata



Vista panoramica de la excavación de calicata



Vista panoramica del perfil estratigrafico

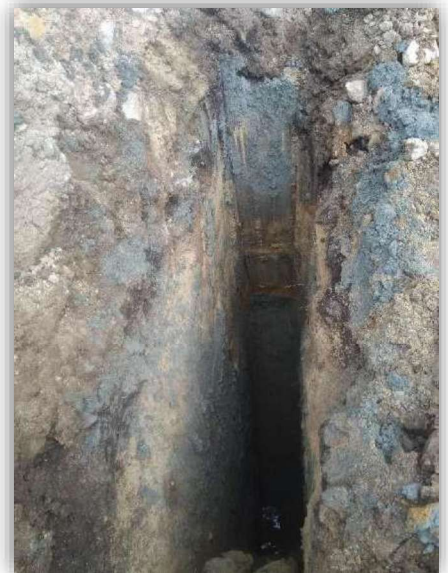


Vista panoramica de la calicata

C-2



Vista panoramica de la excavacion de calicata



Vista panoramica del perfil estratigrafico



Vista panoramica del perfil estratigrafico



Vista panoramica del perfil estratigrafico



C-3

Vista panoramica de la calicata C-3



Vista panoramica del perfil estratigrafico



Vista panoramica del perfil estratigrafico

Vista panoramica del perfil estratigrafico





C-4

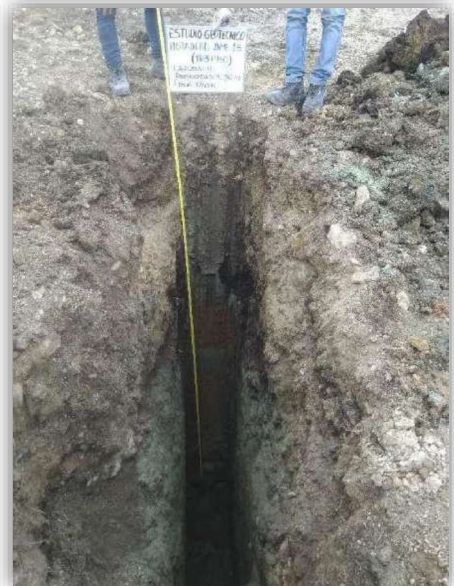
Vista panoramica de la ubicación de calicata



Vista panoramica del perfil estratigrafico



Vista panoramica del perfil estratigrafico



Vista panoramica del perfil estratigrafico

DENSIDAD – 1 T-3 Prof: 2.10 m m.



Ensayo de cono de arena Densidad D-1



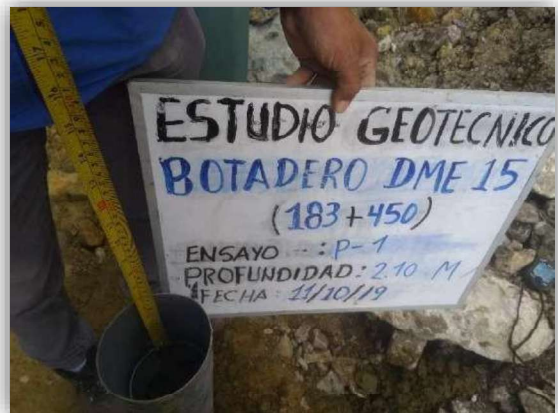
Ensayo de cono de arena Densidad D-1



PERMEABILIDAD P-1 T-3

Ensayo de Permeabilidad P-1

Ensayo de Permeabilidad P-1



TRINCHERA T-1

Vista panoramica de la trinchera



Vista panoramica de la trinchera



TRINCHERA T-2



Vista panoramica de la trinchera



Vista panoramica de la trinchera

TRINCHERA T-3

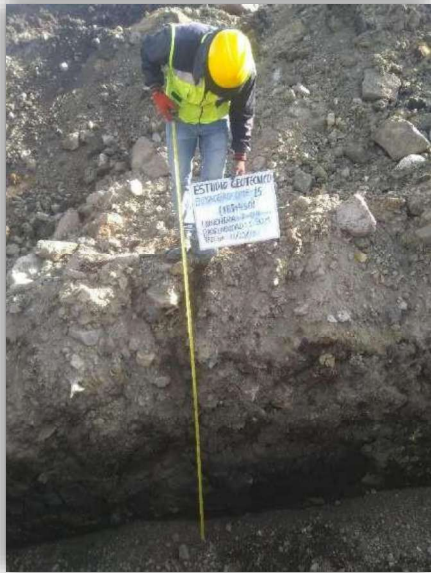
Vista panoramica de la trinchera



Vista panoramica de la trinchera



TRINCHERA T-4



Vista panoramica de la trinchera



Vista panoramica de la trinchera

TRINCHERA T-5

Vista panoramica de la trinchera



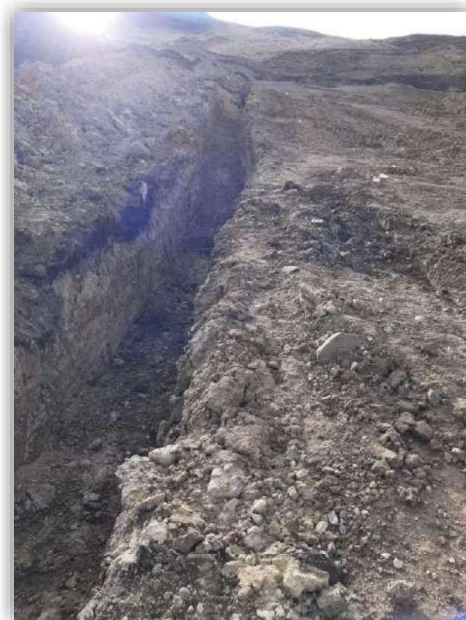
Vista panoramica de la trinchera



TRINCHERA T-6



Vista panoramica de la trinchera



Vista panoramica de la trinchera

TRINCHERA T-7



Vista panorámica de la trinchera

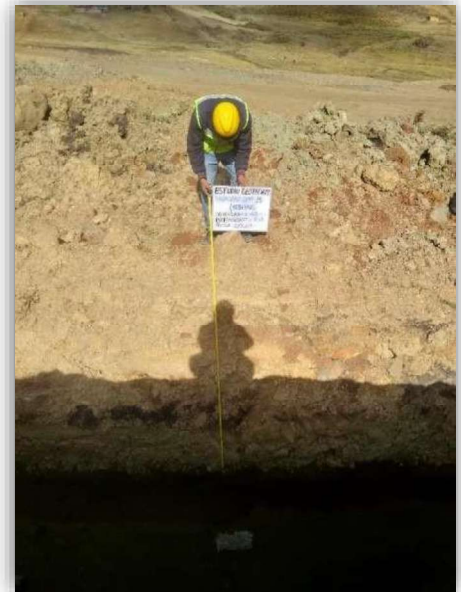


Vista panorámica de la trinchera

TRINCHERA T-8



Vista panoramica de la trinchera



Vista panoramica de la trinchera

MUESTREO DE ROCA



PANEL FOTOGRÁFICO – DME 13 (Km: 175+740)

MACROGRANULOMETRIA M-1



*Vista panoramica del mezclado de material de
desmante*



Vista panoramica del cuarteo de material de ensayo



Vista panoramica de los bloques de roca



Vista panoramica del pesaje de bloques de roca



Vista panoramica del pesaje de bolonerias



Vista panoramica del pesaje de bolonerias

DISEÑO DE BOTADERO DME 13



Vista panoramica del mezclado de material menor a 3 pulgadas



Vista panoramica del pesaje de material menor a 3 pulgadas



Vista panoramica del cuarteo de material menor a 3 pulgadas



Vista panoramica de muestras para laboratorio

MACROGRANULOMETRIA M-2



Vista panoramica del mezclado de material global



Vista panoramica del material de ensayo



Vista panoramica de la selección de bloques y bolonerías



Vista panoramica del pesaje de bloques de roca



Vista panoramica del pesaje de bloques de roca



Vista panoramica de los bloques de roca



Cuarteo de material menor a 3 pulgadas



Vista panorámica del material de ensayo menor a 3 pulgadas



Pesaje de material menor a 3 pulgadas



Muestra para ensayos en laboratorio

MACROGRANULOMETRIA M-3



Vista panoramica del mezclado de material de ensayo



Vista panoramica del material de ensayo



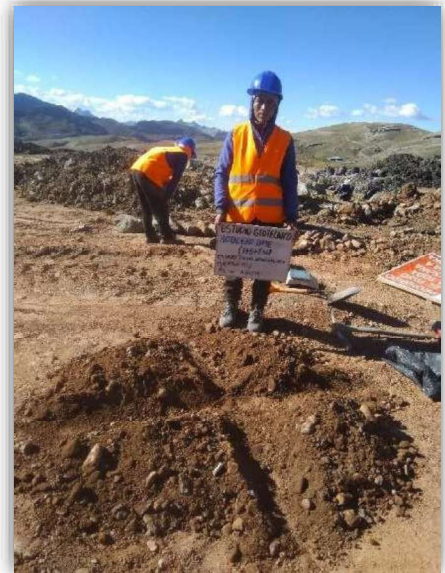
Vista panoramica de la selección de bloques y rocas



Pesaje de los bloques de roca



Vista panoramica del pesaje de bolonerias



Vista panoramica del cuarteo de material menor a 3 pulgadas



Vista panoramica del pesaje de material menor a 3 pulgadas



Vista panoramica del pesaje de material menor a 3 pulgadas



Vista panoramica de muestras para ensayos en laboratorio



Vista panoramica de muestras para ensayos en laboratorio



PERMEABILIDAD 1

Vista panoramica del ensayo permeabilidad

Vista panoramica del ensayo de permeabilidad



PERMEABILIDAD 2

Vista panoramica del ensayo permeabilidad



Vista panoramica del ensayo permeabilidad



PERMEABILIDAD 3

Vista panoramica del ensayo permeabilidad



Vista panoramica del ensayo permeabilidad



PERMEABILIDAD 4



Vista panoramica del ensayo permeabilidad



Vista panoramica del ensayo permeabilidad

Analysis of Rock Strength using RocLab

Hoek-Brown Classification

intact uniaxial compressive strength = 44 MPa
GSI = 25 $m_i = 30$ Disturbance factor = 0.7

Hoek-Brown Criterion

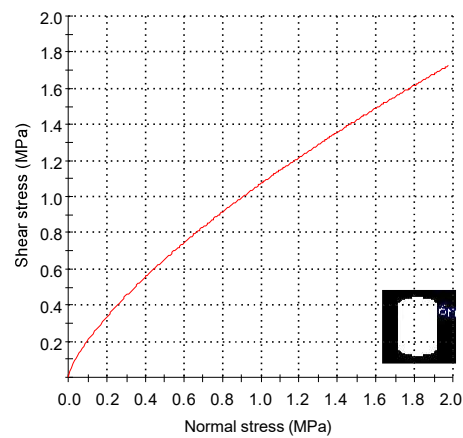
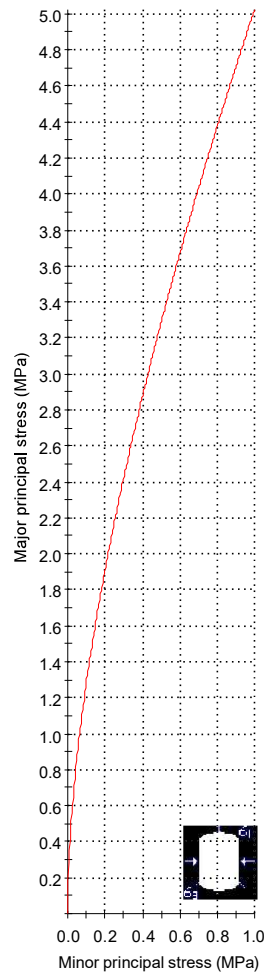
$m_b = 0.487$ $s = 1.9e-5$ $a = 0.531$

Mohr-Coulomb Fit

cohesion = 0.236 MPa friction angle = 38.53 deg

Rock Mass Parameters

tensile strength = -0.002 MPa
uniaxial compressive strength = 0.137 MPa
global strength = 3.478 MPa
modulus of deformation = 1022.44 MPa



Analysis of Rock Strength using RocLab

Hoek-Brown Classification

intact uniaxial compressive strength = 44 MPa
GSI = 67 $m_i = 30$ Disturbance factor = 0.7

Hoek-Brown Criterion

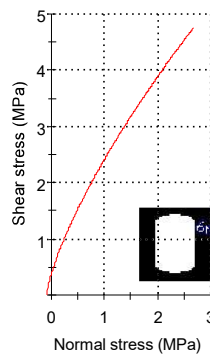
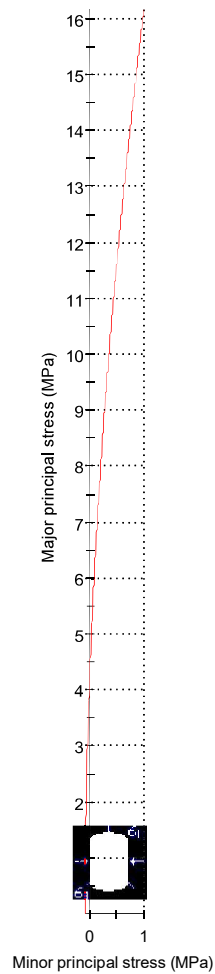
$m_b = 4.894$ $s = 0.0084$ $a = 0.502$

Mohr-Coulomb Fit

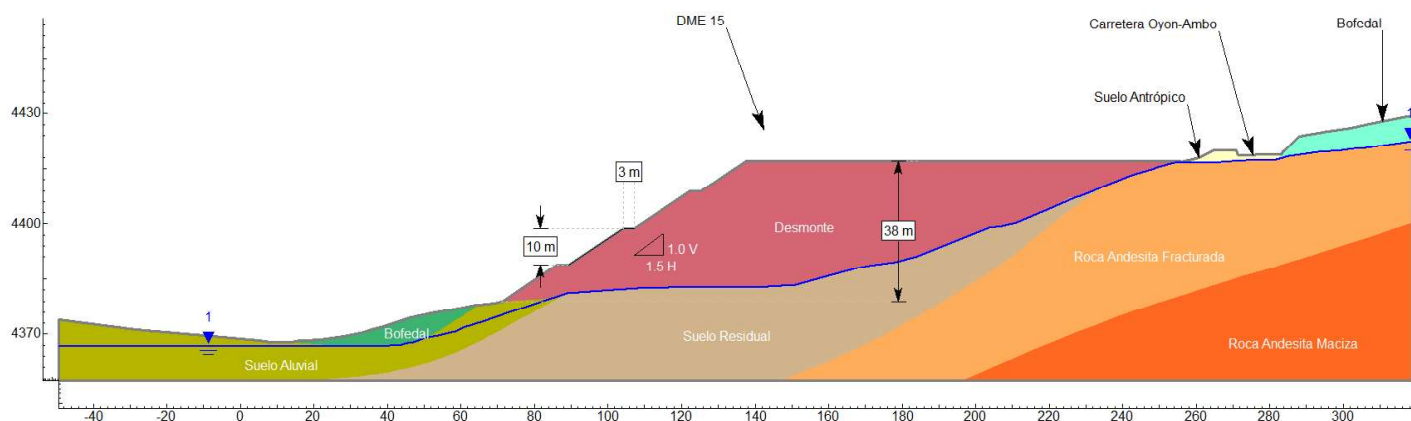
cohesion = 0.695 MPa friction angle = 58.17 deg

Rock Mass Parameters

tensile strength = -0.075 MPa
uniaxial compressive strength = 3.994 MPa
global strength = 13.226 MPa
modulus of deformation = 11472.01 MPa



Anexo 2. Figuras de análisis de estabilidad física



Materiales	Color	γ_{total} (⁽¹⁾) (kN/m ³)	Parámetros drenados	
			c (")	ϕ (kPa)
Suelo Antrópico		16	0	16
Desmorte		22.4	27	38
Suelo Residual		16.3	0	32.2
Suelo Aluvial		17	0	32
Bofedal Permanente		17	5	20
Bofedal Permanente Temporal		17	5	20
Roca Andesita Fracturada		23.6	38	230
Roca Andesita Maciza		23.6	58	700

Notas:
(1): Colores asignados a los materiales con parámetros drenados.



ESCALA:	SIN ESCALA
FECHA:	ENERO 2025
DISEÑO:	JCN
DIBUJO:	JCN
REVISADO:	MRE
APROBADO:	MRE

TESIS:

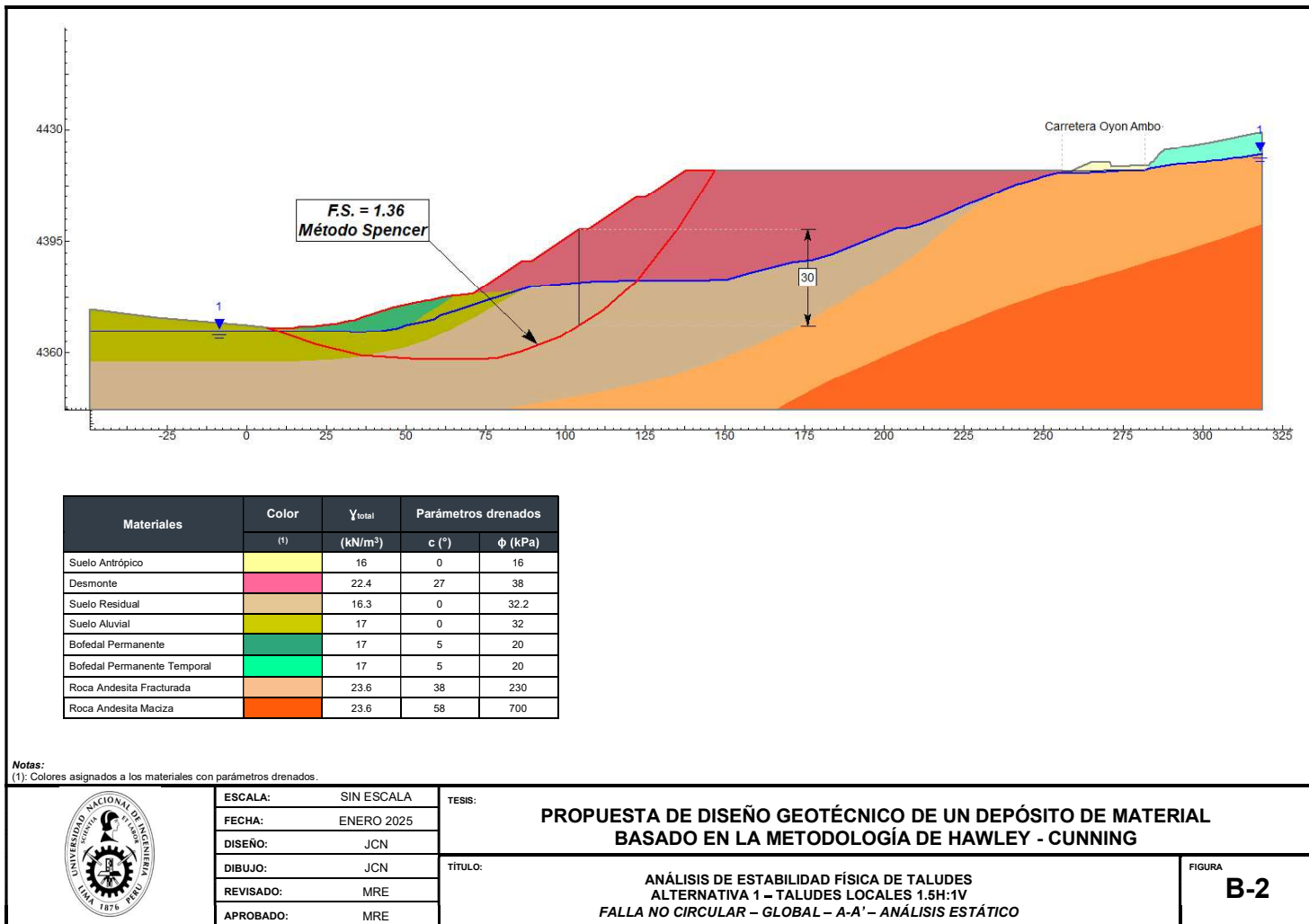
PROPUESTA DE DISEÑO GEOTÉCNICO DE UN DEPÓSITO DE MATERIAL BASADO EN LA METODOLOGÍA DE HAWLEY - CUNNING

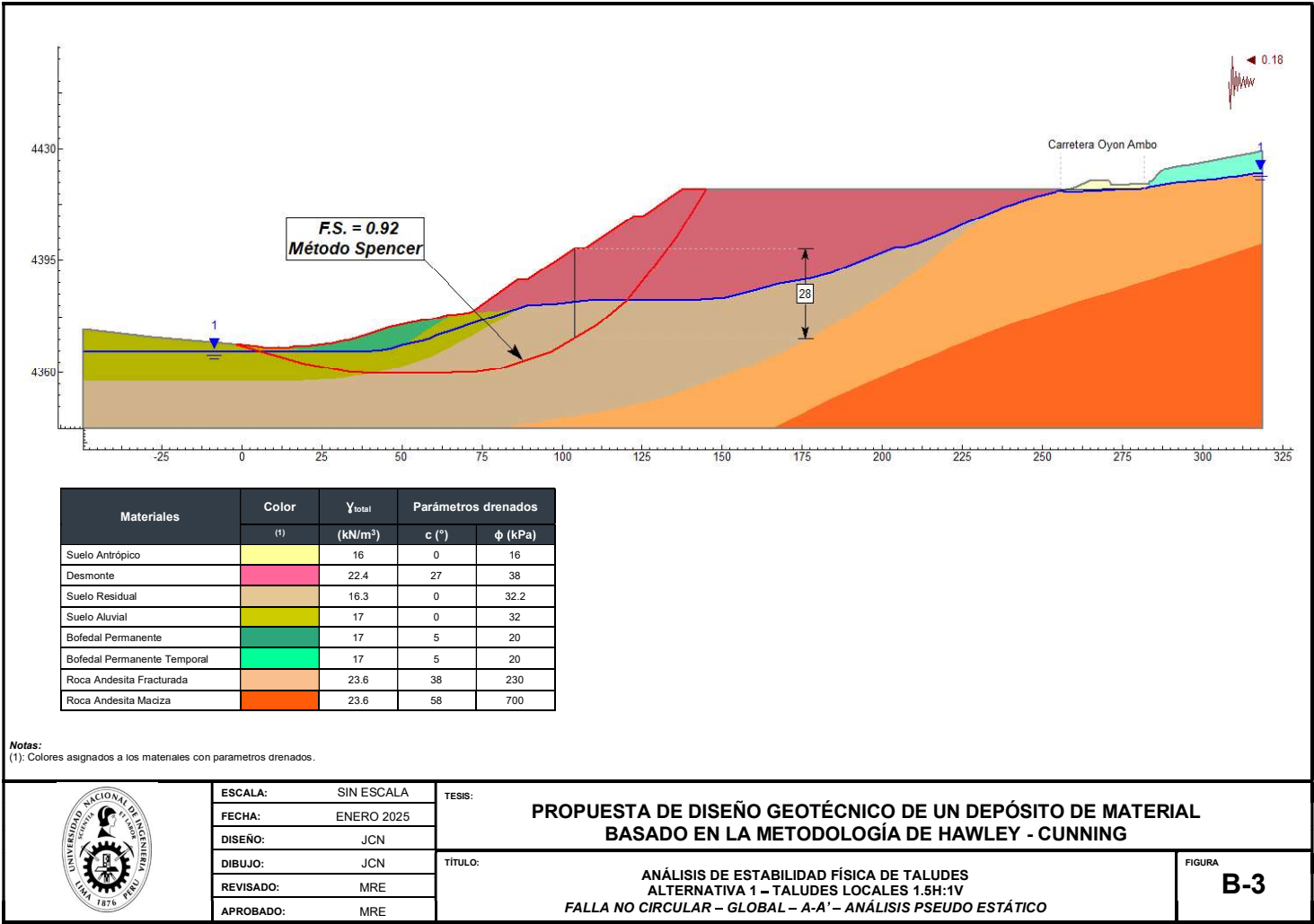
TÍTULO:

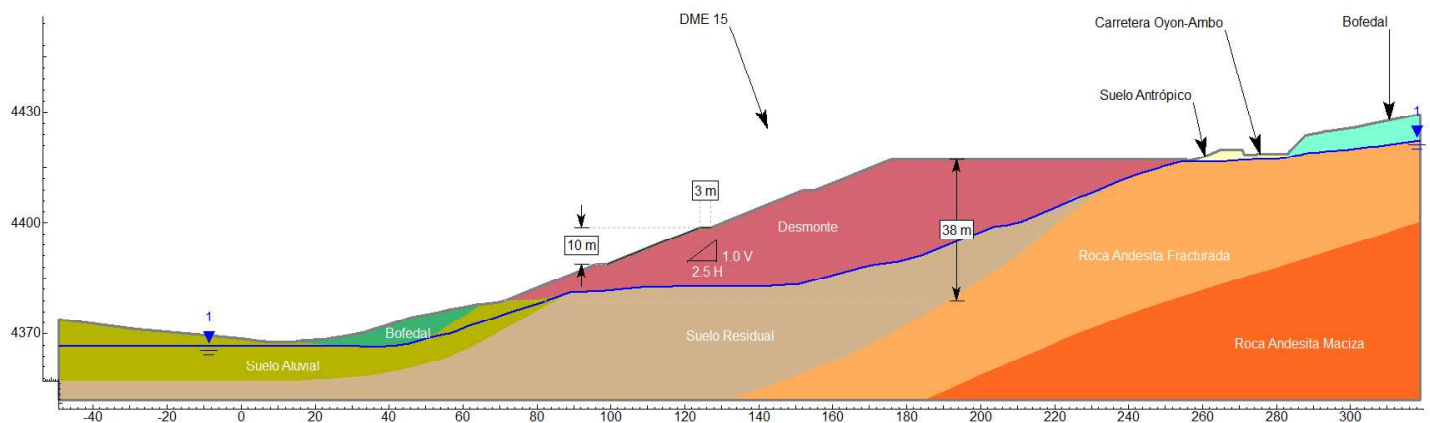
ANÁLISIS DE ESTABILIDAD FÍSICA DE TALUDES
ALTERNATIVA 1 – TALUDES LOCALES 1.5H:1V
MODELO GEOTÉCNICO 2D DEL DME 15

FIGURA

B-1







Materiales	Color	γ_{total} (⁽¹⁾) (kN/m ³)	Parámetros drenados	
			c (°)	ϕ (kPa)
Suelo Antrópico		16	0	16
Desmonte		22.4	27	38
Suelo Residual		16.3	0	32.2
Suelo Aluvial		17	0	32
Bofedal Permanente		17	5	20
Bofedal Permanente Temporal		17	5	20
Roca Andesita Fracturada		23.6	38	230
Roca Andesita Maciza		23.6	58	700

Notas:
(1): Colores asignados a los materiales con parámetros drenados.



ESCALA:	SIN ESCALA
FECHA:	ENERO 2025
DISEÑO:	JCN
DIBUJO:	JCN
REVISADO:	MRE
APROBADO:	MRE

TESIS:

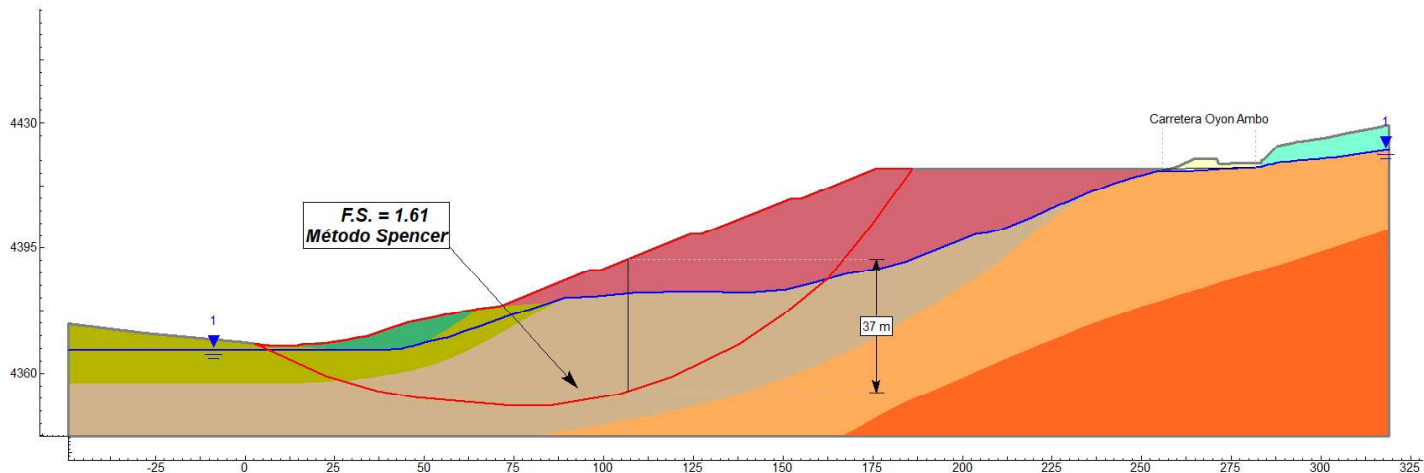
PROPUESTA DE DISEÑO GEOTÉCNICO DE UN DEPÓSITO DE MATERIAL BASADO EN LA METODOLOGÍA DE HAWLEY - CUNNING

TÍTULO:

ANÁLISIS DE ESTABILIDAD FÍSICA DE TALUDES
ALTERNATIVA 2 – TALUDES LOCALES 2.5H:1V
MODELO GEOTÉCNICO 2D DEL DME 15

FIGURA

B-4



Materiales	Color	γ_{total} (⁽¹⁾) (kN/m ³)	Parámetros drenados	
			c (°)	ϕ (kPa)
Suelo Antrópico		16	0	16
Desmonte		22.4	27	38
Suelo Residual		16.3	0	32.2
Suelo Aluvial		17	0	32
Bofedal Permanente		17	5	20
Bofedal Permanente Temporal		17	5	20
Roca Andesita Fracturada		23.6	38	230
Roca Andesita Maciza		23.6	58	700

Notas:

(1). Colores asignados a los materiales con parámetros drenados.



ESCALA:	SIN ESCALA
FECHA:	ENERO 2025
DISEÑO:	JCN
DIBUJO:	JCN
REVISADO:	MRE
APROBADO:	MRE

TESIS:

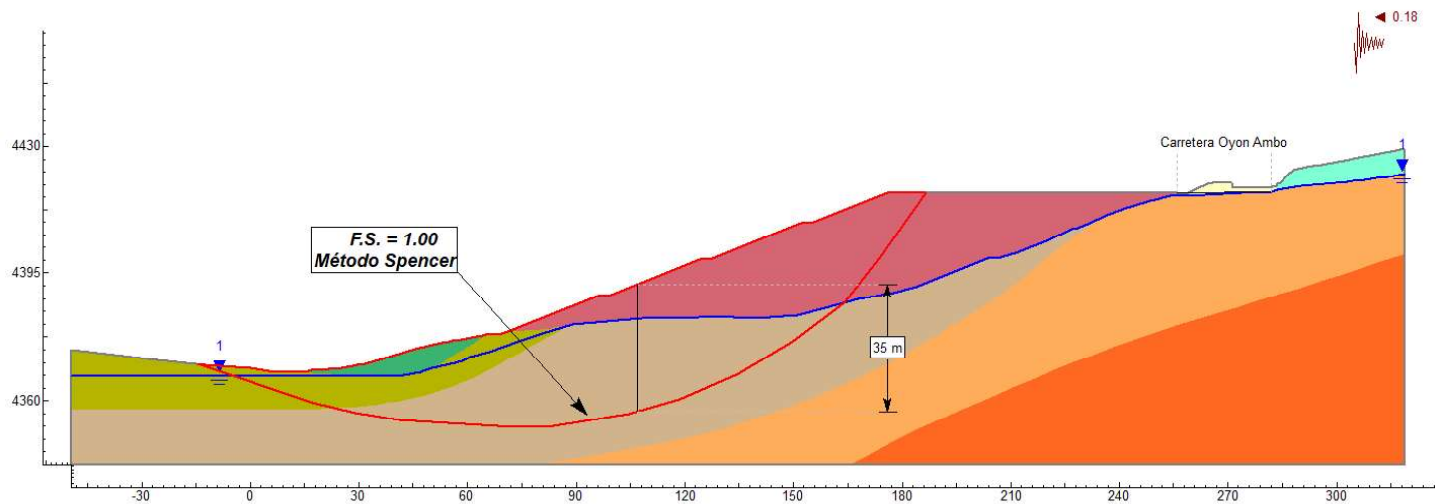
PROPUESTA DE DISEÑO GEOTÉCNICO DE UN DEPÓSITO DE MATERIAL BASADO EN LA METODOLOGÍA DE HAWLEY - CUNNING

TÍTULO:

ANÁLISIS DE ESTABILIDAD FÍSICA DE TALUDES
ALTERNATIVA 2 – TALUDES LOCALES 2.5H:1V
FALLA NO CIRCULAR – GLOBAL – A-A' – ANÁLISIS ESTÁTICO

FIGURA

B-5



Materiales	Color	γ_{total} (kN/m^3)	Parámetros drenados	
	(1)		c (")	ϕ (kPa)
Suelo Antrópico		16	0	16
Desmonte		22.4	27	38
Suelo Residual		16.3	0	32.2
Suelo Aluvial		17	0	32
Bofedal Permanente		17	5	20
Bofedal Permanente Temporal		17	5	20
Roca Andesita Fracturada		23.6	38	230
Roca Andesita Maciza		23.6	58	700

Notas:

(1). Colores asignados a los materiales con parámetros drenados.



ESCALA:	SIN ESCALA
FECHA:	ENERO 2025
DISEÑO:	JCN
DIBUJO:	JCN
REVISADO:	MRE
APROBADO:	MRE

TESIS:

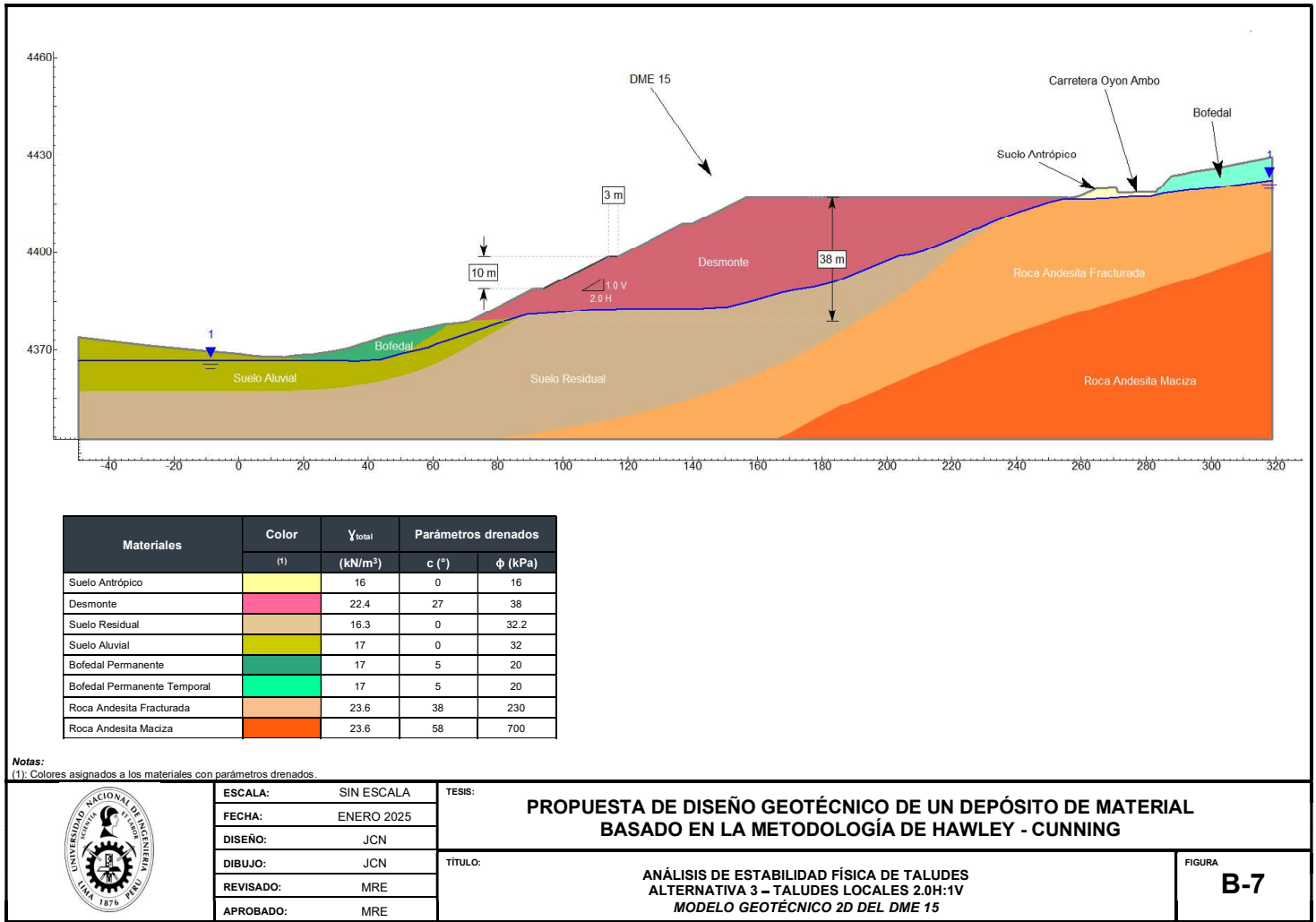
PROPUESTA DE DISEÑO GEOTÉCNICO DE UN DEPÓSITO DE MATERIAL BASADO EN LA METODOLOGÍA DE HAWLEY - CUNNING

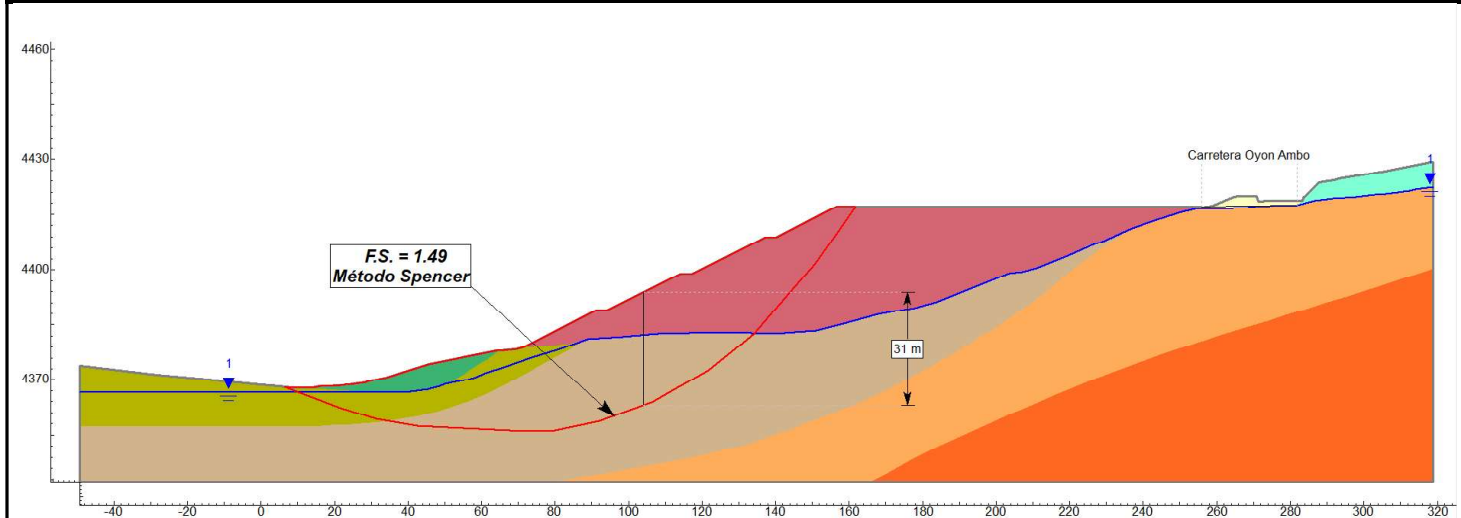
TÍTULO:

ANÁLISIS DE ESTABILIDAD FÍSICA DE TALUDES
ALTERNATIVA 2 – TALUDES LOCALES 2.5H:1V
FALLA NO CIRCULAR – GLOBAL – A-A' – ANÁLISIS PSEUDO ESTÁTICO

FIGURA

B-6





Materiales	Color	γ_{total} (⁽¹⁾) (kN/m ³)	Parámetros drenados	
	(⁽¹⁾)		c (°)	ϕ (kPa)
Suelo Antrópico		16	0	16
Desmonte		22.4	27	38
Suelo Residual		16.3	0	32.2
Suelo Aluvial		17	0	32
Bofedal Permanente		17	5	20
Bofedal Permanente Temporal		17	5	20
Roca Andesita Fracturada		23.6	38	230
Roca Andesita Maciza		23.6	58	700

Notas:
(1): Colores asignados a los materiales con parámetros drenados.



ESCALA:	SIN ESCALA
FECHA:	ENERO 2025
DISEÑO:	JCN
DIBUJO:	JCN
REVISADO:	MRE
APROBADO:	MRE

TESIS:

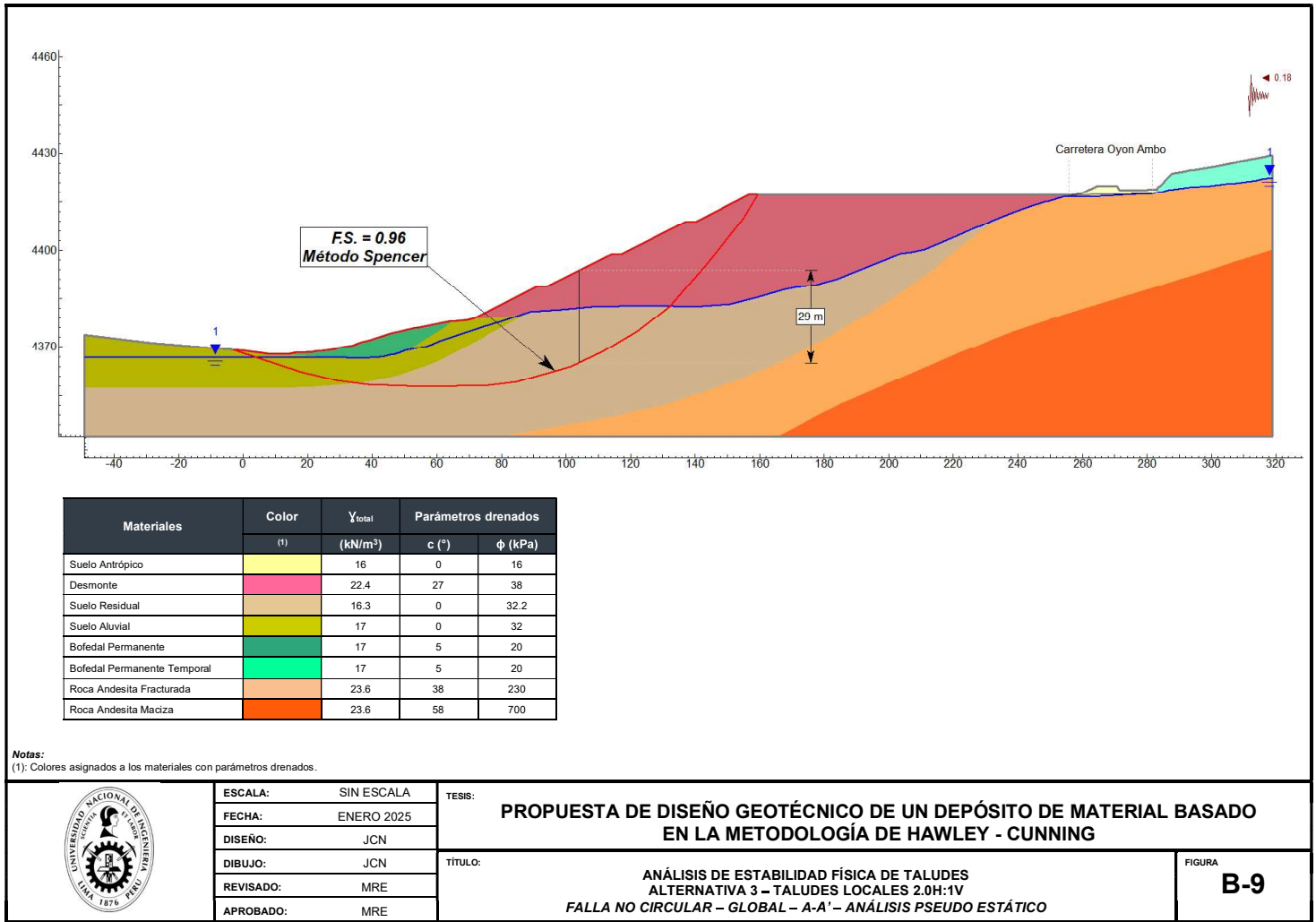
PROPUESTA DE DISEÑO GEOTÉCNICO DE UN DEPÓSITO DE MATERIAL BASADO EN LA METODOLOGÍA DE HAWLEY - CUNNING

TÍTULO:

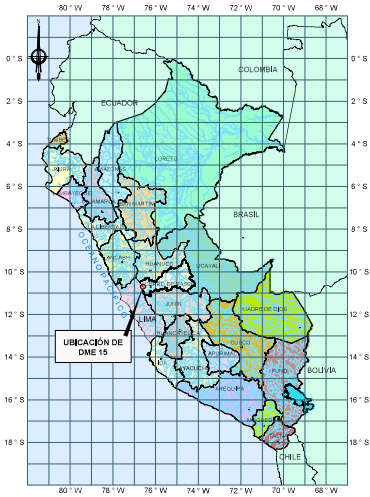
ANÁLISIS DE ESTABILIDAD FÍSICA DE TALUDES
ALTERNATIVA 3 – TALUDES LOCALES 2.0H:1V
FALLA NO CIRCULAR – GLOBAL – A-A' – ANÁLISIS ESTÁTICO

FIGURA

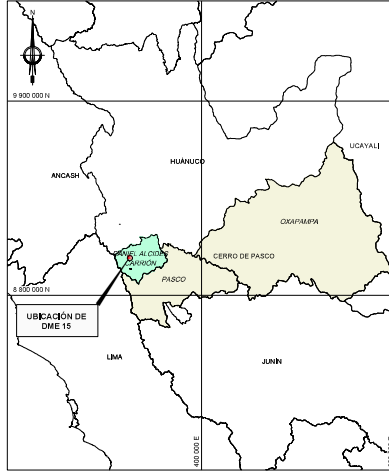
B-8



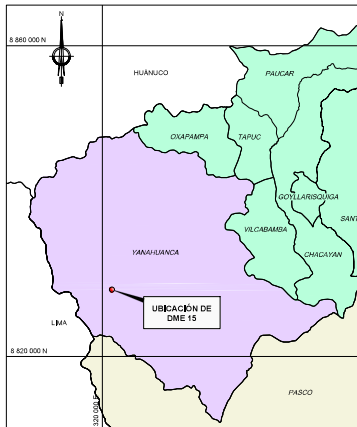
Anexo 3. Planos



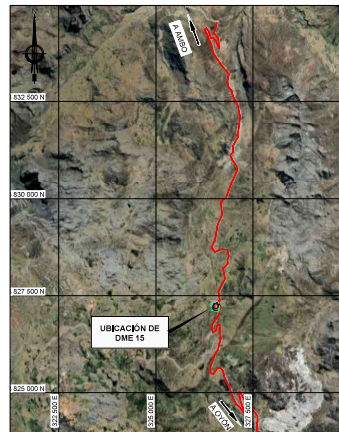
UBICACIÓN DEPARTAMENTAL
ESCALA 1:10 000 000



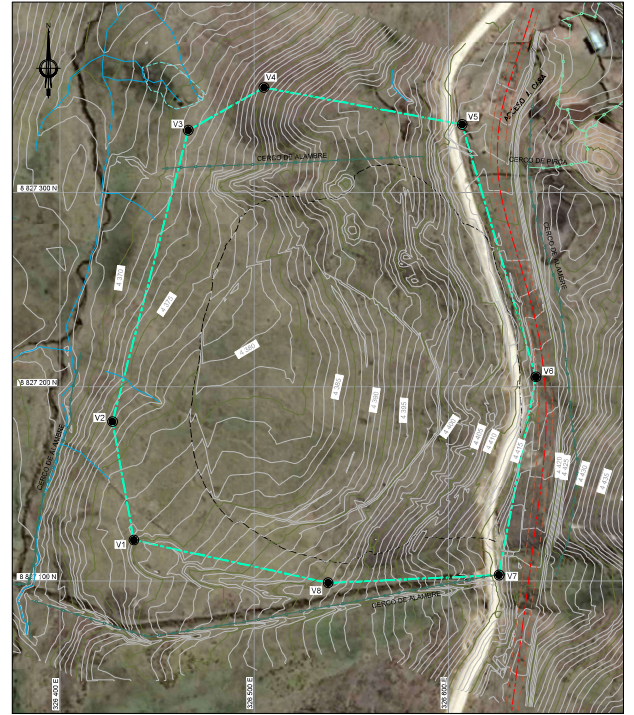
UBICACIÓN PROVINCIAL
ESCALA 1:2 000 000



UBICACIÓN DISTRITAL
ESCALA 1:500 000



UBICACIÓN
ESCALA 1:50 000



PLANTA
ESCALA 1:100

COORDENADAS DE VERTICES DE DME 15		
VERTICE	ESTE	NORTE
V1	328 436.00	8 827 121.00
V2	328 427.00	8 827 182.00
V3	328 468.00	8 827 332.00
V4	328 505.00	8 827 354.00
V5	328 607.00	8 827 335.00
V6	328 645.00	8 827 205.00
V7	328 626.00	8 827 103.00
V8	328 538.00	8 827 089.00

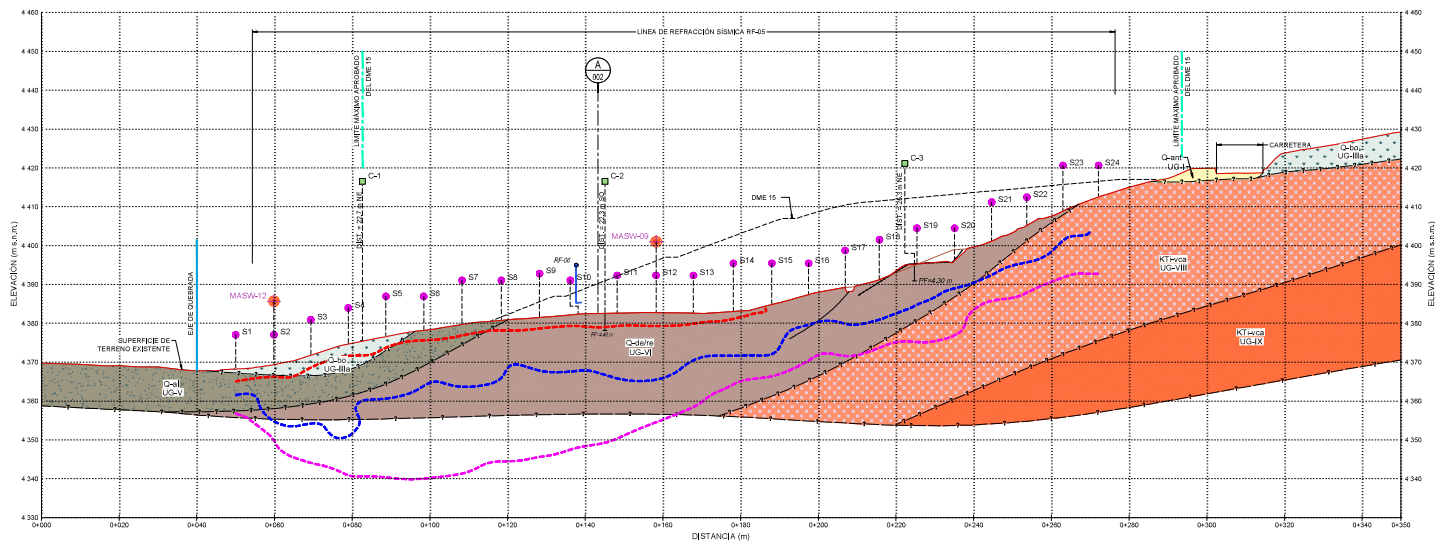
LEYENDA	
	CURVA MAESTRA
	CURVA SECUNDARIA
	CAUCE DE AGUA
	ACCESO ENFENTE
	PERIMETRO APROXIMADO DEL DME 15-AMO
	EJE PROYECTADO Y PROGRESIVA CARRETERA OCHO-AMBO
	CERCO DE ALAMBRE
	CERCO DE HIERRA
	DIRECCION DE RIO Y CORRIENTES
	VERTICE DE DME



NOTAS:

1. TODAS LAS DIMENSIONES, ELEVACIONES Y COORDENADAS EN METROS DE ACUERDO AL SISTEMA INTERNACIONAL DE MEDIDAS (S.I.).
2. BASE TOPOGRAFICA SEGUN LEVANTAMIENTO TOPOGRAFICO ELABORADO POR EL CROCH (2018), SISTEMA DE COORDENADAS UTM WGS84-M5.
3. LAS ESCALAS INDICADAS EN ESTE PLANO CORRESPONDEN AL FORMATO DE IMPRESION EN TAMAÑO A1.

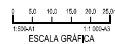
"PROPUESTA DE DISEÑO GEOTECNICO PARA UN DEPOSITO DE MATERIAL EXCEDENTE BASADO EN LA METODOLOGIA DE HAWLEY - CUNNING"		
TITULO:	PROYECTO:	INDICADA:
PLANO DE UBICACIÓN DME 15 (KM 183+450)	FECHA:	OCTUBRE 2024
	PLANTILLA:	DME-15-GL-001



SECCIÓN GEOTÉCNICA A - A'

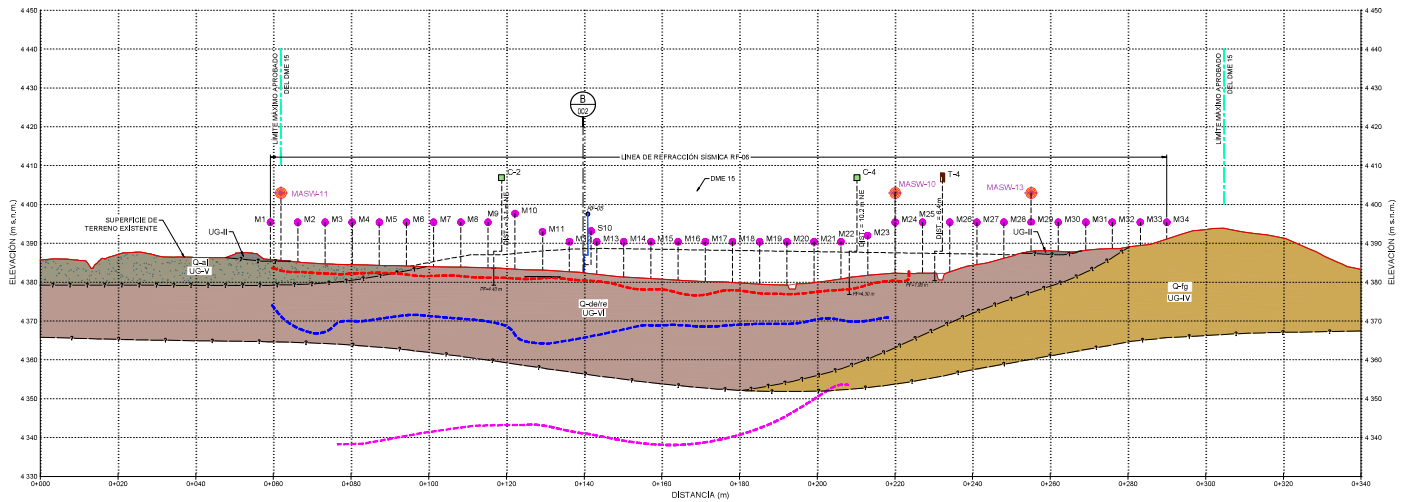
LEYENDA	
	SUPERFICIE DE TERRENO EXISTENTE
	CONTACTO ENTRE SUELO Y DEPOSITO DELUVAL-RESIDUAL
	CONTACTO ENTRE DEPOSITO DELUVAL-RESIDUAL Y ANDESITA ALTERADA
	CONTACTO ENTRE ANDESITA ALTERADA Y ANDESITA MAJIZA
	CONTACTO GEOLOGICO REFERIDO
	LIMITES INFERIORES DE PROFUNDIDAD
	DESLIZAMIENTO RECIENTE
	PUNTOS GEOFISICOS
	ESTACIONES MASW
	CAJAS
	LINEA DE REFRACCIÓN SÍSMICA
	ESTACIONES DE MONITOREO
	ESTACIONES DE MONITOREO
	ESTACIONES DE MONITOREO
	ESTACIONES DE MONITOREO
	ESTACIONES DE MONITOREO
	ESTACIONES DE MONITOREO
	ESTACIONES DE MONITOREO
	ESTACIONES DE MONITOREO
	ESTACIONES DE MONITOREO
	ESTACIONES DE MONITOREO
	ESTACIONES DE MONITOREO
	ESTACIONES DE MONITOREO
	ESTACIONES DE MONITOREO
	ESTACIONES DE MONITOREO
	ESTACIONES DE MONITOREO
	ESTACIONES DE MONITOREO
	ESTACIONES DE MONITOREO
	ESTACIONES DE MONITOREO
	ESTACIONES DE MONITOREO
	ESTACIONES DE MONITOREO
	ESTACIONES DE MONITOREO
	ESTACIONES DE MONITOREO
	ESTACIONES DE MONITOREO
	ESTACIONES DE MONITOREO
	ESTACIONES DE MONITOREO
	ESTACIONES DE MONITOREO
	ESTACIONES DE MONITOREO
	ESTACIONES DE MONITOREO
	ESTACIONES DE MONITOREO
	ESTACIONES DE MONITOREO
	ESTACIONES DE MONITOREO
	ESTACIONES DE MONITOREO
	ESTACIONES DE MONITOREO
	ESTACIONES DE MONITOREO
	ESTACIONES DE MONITOREO
	ESTACIONES DE MONITOREO
	ESTACIONES DE MONITOREO
	ESTACIONES DE MONITOREO
	ESTACIONES DE MONITOREO
	ESTACIONES DE MONITOREO
	ESTACIONES DE MONITOREO
	ESTACIONES DE MONITOREO
	ESTACIONES DE MONITOREO
	ESTACIONES DE MONITOREO
	ESTACIONES DE MONITOREO
	ESTACIONES DE MONITOREO
	ESTACIONES DE MONITOREO
	ESTACIONES DE MONITOREO
	ESTACIONES DE MONITOREO
	ESTACIONES DE MONITOREO
	ESTACIONES DE MONITOREO
	ESTACIONES DE MONITOREO
	ESTACIONES DE MONITOREO
	ESTACIONES DE MONITOREO
	ESTACIONES DE MONITOREO
	ESTACIONES DE MONITOREO
	ESTACIONES DE MONITOREO
	ESTACIONES DE MONITOREO
	ESTACIONES DE MONITOREO
	ESTACIONES DE MONITOREO
	ESTACIONES DE MONITOREO
	ESTACIONES DE MONITOREO
	ESTACIONES DE MONITOREO
	ESTACIONES DE MONITOREO
	ESTACIONES DE MONITOREO
	ESTACIONES DE MONITOREO
	ESTACIONES DE MONITOREO
	ESTACIONES DE MONITOREO
	ESTACIONES DE MONITOREO
	ESTACIONES DE MONITOREO
	ESTACIONES DE MONITOREO
	ESTACIONES DE MONITOREO
	ESTACIONES DE MONITOREO
	ESTACIONES DE MONITOREO
	ESTACIONES DE MONITOREO
	ESTACIONES DE MONITOREO
	ESTACIONES DE MONITOREO
	ESTACIONES DE MONITOREO
	ESTACIONES DE MONITOREO
	ESTACIONES DE MONITOREO
	ESTACIONES DE MONITOREO
	ESTACIONES DE MONITOREO
	ESTACIONES DE MONITOREO
	ESTACIONES DE MONITOREO
	ESTACIONES DE MONITOREO
	ESTACIONES DE MONITOREO
	ESTACIONES DE MONITOREO
	ESTACIONES DE MONITOREO
	ESTACIONES DE MONITOREO
	ESTACIONES DE MONITOREO
	ESTACIONES DE MONITOREO
	ESTACIONES DE MONITOREO
	ESTACIONES DE MONITOREO
	ESTACIONES DE MONITOREO
	ESTACIONES DE MONITOREO
	ESTACIONES DE MONITOREO
	ESTACIONES DE MONITOREO
	ESTACIONES DE MONITOREO
	ESTACIONES DE MONITOREO
	ESTACIONES DE MONITOREO

UNIDADES		
NOMENCLATURA	GEOTÉCNICAS	ESTRATIGRAFICAS
UG-01	DEPOSITO ANTRÓPICO	MATERIAL ANTRÓPICO
UG-02	DEPOSITO TOPSOIL	DEPOSITO TOPSOIL
UG-03	BOFEDAL CON AGUA PERMANENTE	BOFEDAL CON AGUA PERMANENTE
UG-04	BOFEDAL TEMPORAL	BOFEDAL TEMPORAL
UG-05	DEPOSITO FLUVIOGLACIAL	DEPOSITO FLUVIOGLACIAL
UG-06	DEPOSITO ALUVIAL	DEPOSITO ALUVIAL
UG-07	DEPOSITO DELUVAL-RESIDUAL	DEPOSITO DELUVAL-RESIDUAL
UG-08	DEPOSITO COLUVIAL	DEPOSITO COLUVIAL
UG-09	ROCA ANDESITA FRACTURADA	ANDESITA METEORIZADA
UG-10	ROCA ANDESITA MACIZA	ANDESITA TRAGUETA
UG-11	RUMBO Y BUZAMIENTO DE ESTRATOS	
UG-12	CONTACTO	



NOTAS:
1. VER NOTAS GENERALES EN PLANO DME-15-01-001.

"PROPUESTA DE DISEÑO GEOTÉCNICO PARA UN DEPOSITO DE MATERIAL EXCEDENTE BASADO EN LA METODOLOGIA DE HAWLEY - CUNNING"	
TÍTULO: SECCIÓN GEOTÉCNICA A - A'	FECHA: OCTUBRE 2024 PLANTILLA: DME-15-GG-003

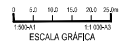


SECCIÓN GEOTÉCNICA B-B'

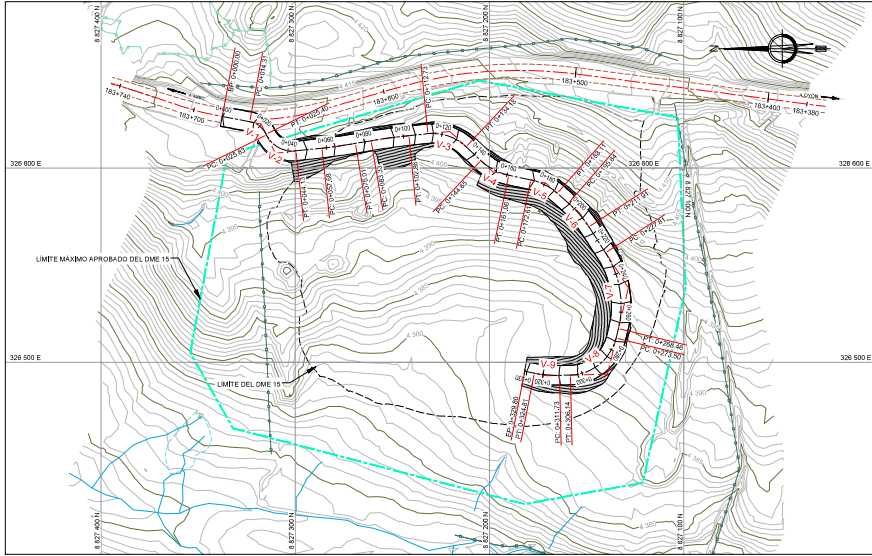
LEYENDA	
	SUPERFICIE DE TERRENO EXISTENTE
	CONTACTO ENTRE SUELO Y DEPOSITO DELUVAL/RESIDUAL
	CONTACTO ENTRE DEPOSITO DELUVAL/RESIDUAL Y ANDESITA ALTERADA
	CONTACTO ENTRE ANDESITA ALTERADA Y ANDESITA MASIVA
	CONTACTO GEOLÓGICO INFERIDO
	LÍMITE INFERIDO DE PROFUNDIDAD
	DESPLAZAMIENTO RECIENTE
	PUNTOS GEOFÍSICOS
	ESTACIONES MASW
	CAJITAS
	LINEA DE ENSAYO DE REFRACCIÓN SÍSMICA
	DESTACADA PROYECTADA HACIA LA LINEA DE SECCIÓN
	CAJITA Y/O TRINCHERA EN SECCIÓN Y PROFUNDIDAD FINAL
	INTERSECCIÓN CON SECCIÓN "X" EN PLANO "Y"

UNIDADES		
NOMENCLATURA	GEOTÉCNICAS	ESTRATIGRAFICAS
	DEPÓSITO ANTRÓPICO	MATERIAL ANTRÓPICO
	DEPÓSITO TOPSOL	DEPÓSITO TOPSOL
	BOFEDAL CON AGUA PERMANENTE	BOFEDAL CON AGUA PERMANENTE
	BOFEDAL TEMPORAL	BOFEDAL TEMPORAL
	DEPÓSITO FLUVIDUVAL	DEPÓSITO FLUVIDUVAL
	DEPÓSITO ALUVIAL	DEPÓSITO ALUVIAL
	DEPÓSITO DELUVAL/RESIDUAL	DEPÓSITO DELUVAL/RESIDUAL
	DEPÓSITO COLUVAL	DEPÓSITO COLUVAL
	ROCA ANDESITA FRACTURADA	ANDESITA FRACTURADA
	ROCA ANDESITA MASIVA	ANDESITA MASIVA
	CONTACTO	CONTACTO

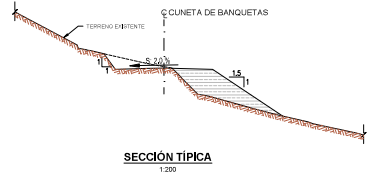
NOTAS:
1. VER NOTAS GENERALES EN PLANO DME-15-02-001.



PROYECTO: "PROPUESTA DE DISEÑO GEOTÉCNICO PARA UN DEPÓSITO DE MATERIAL EXCEDENTE BASADO EN LA METODOLOGÍA DE HAWLEY - CUNNING"		
TÍTULO:	ESCALA:	INDICADA
SECCIÓN GEOTÉCNICA B - B'	FECHA:	OCTUBRE 2024
	PLANO:	DME-15-GG-004



PLANTA
1:1 000

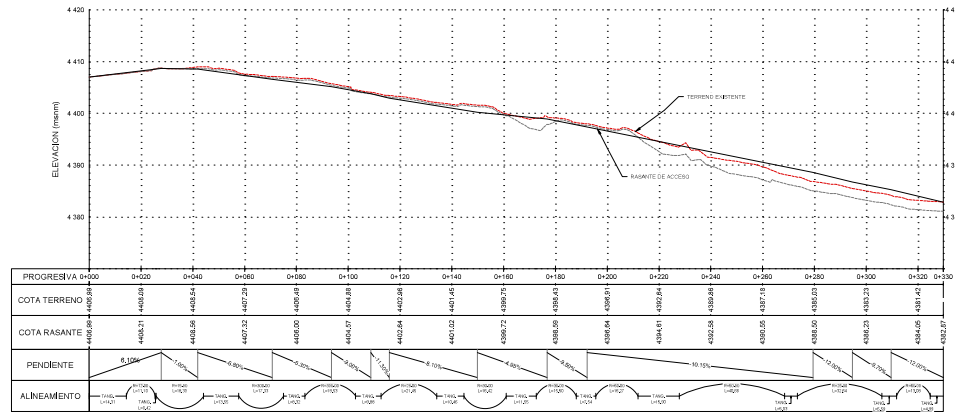


SECCIÓN TÍPICA
1:200

NUMERO	RADIO	LONGITUD	RUMBO CUERDA	TANGENTE	EXTERN	S	PC	PT
V-1	12.00	11.10	S37° 09' 27.67° W	5.88	1.41	052° 59' 28"	(326 823.90 & 827 323.48)	(326 817.43 & 827 314.85)
V-2	15.00	18.30	S28° 41' 38.51° W	10.48	3.30	068° 55' 05"	(326 817.05 & 827 314.78)	(326 808.30 & 827 289.68)
V-3	25.00	21.45	S18° 43' 58.81° W	11.43	2.49	048° 09' 17"	(326 817.48 & 827 231.67)	(326 811.00 & 827 211.88)
V-4	30.00	18.42	S27° 38' 05.88° W	8.42	1.18	031° 21' 03"	(326 803.42 & 827 204.37)	(326 804.30 & 827 190.00)
V-5	30.00	15.50	S28° 45' 35.11° W	7.30	1.03	028° 38' 01"	(326 803.91 & 827 176.71)	(326 807.01 & 827 165.02)
V-6	40.00	18.27	S49° 19' 34.64° W	8.18	0.58	019° 31' 18"	(326 802.01 & 827 159.38)	(326 808.71 & 827 148.81)
V-7	50.00	40.88	S80° 23' 11.38° W	21.53	4.44	048° 35' 16"	(326 806.39 & 827 140.18)	(326 817.37 & 827 133.57)
V-8	25.00	32.64	N38° 54' 53.08° W	19.12	6.47	074° 48' 35"	(326 812.45 & 827 134.78)	(326 803.40 & 827 155.40)
V-9	40.00	13.08	N04° 44' 12.11° E	6.57	0.36	012° 29' 35"	(326 803.25 & 827 163.88)	(326 804.33 & 827 175.88)

	CURVA MAESTRA
	CURVA SECUNDARIA
	ACCESO EXISTENTE
	LÍMITE MÁXIMO APROBADO DEL DME 15
	EJE PROYECTADO Y PROGRESIVA
	CARRILERA CON ALMO
	CERCO DE ALAMBRE
	CERCO DE PIRCA
	DIRECCIÓN DE RÍO Y CARRETERA

NOTAS:
1. VER NOTAS GENERALES EN PLANO DME-15-GV-001.



PERFIL LONGITUDINAL
HR-1:750, V=1:1 500

PROYECTO: "PROPUESTA DE DISEÑO GEOTÉCNICO PARA UN DEPÓSITO DE MATERIAL EXCEDENTE BASADO EN LA METODOLOGÍA DE HAWLEY - CUNNING"

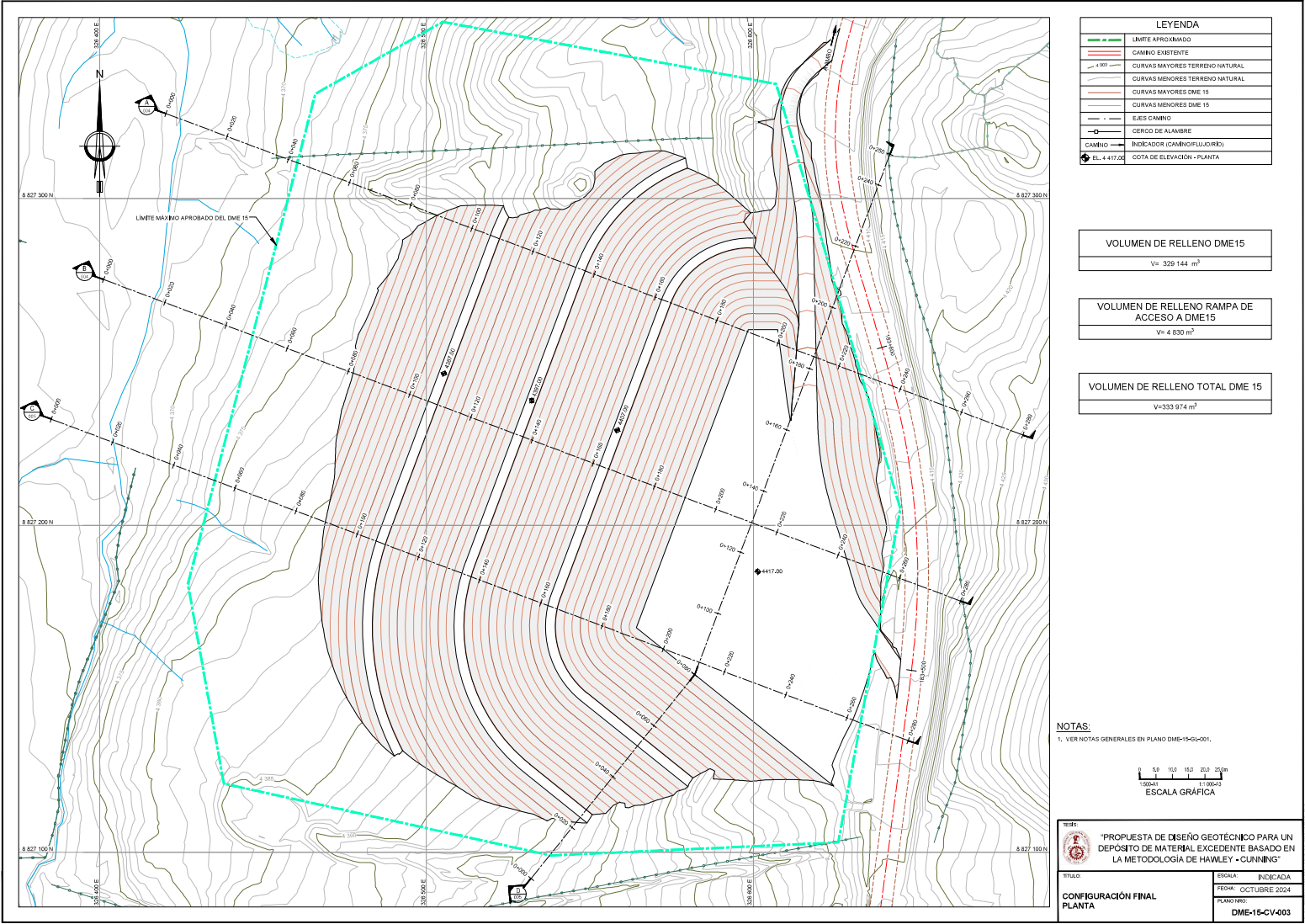
TÍTULO: ACCESO DE CONSTRUCCIÓN

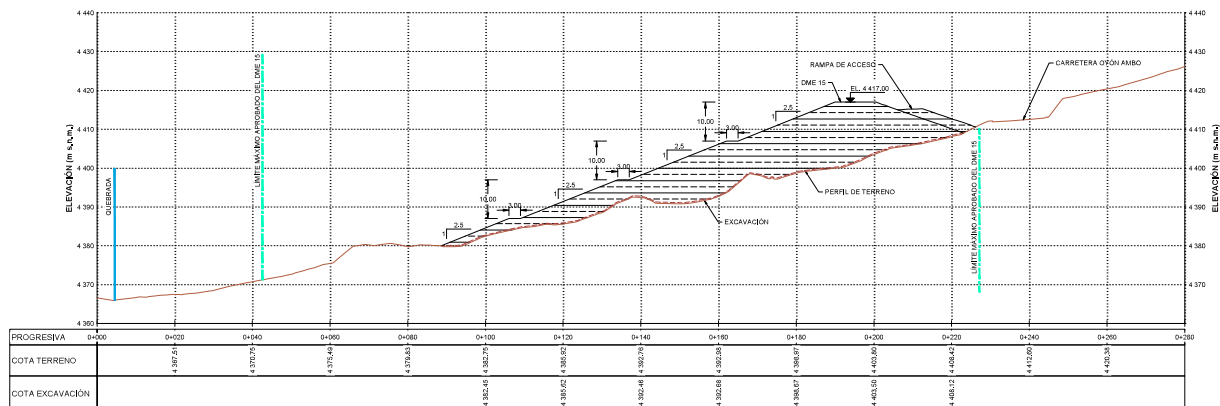
PLANTA, PERFIL Y SECCIÓN TÍPICA

FECHA: OCTUBRE 2024

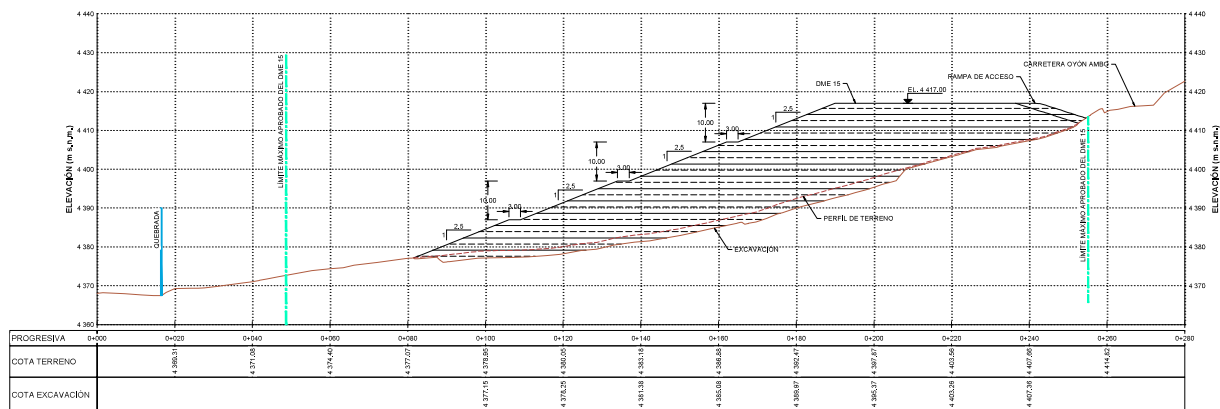
DISEÑADOR: DME-15-GV-002

INDICADA





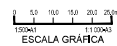
PERFIL LONGITUDINAL A - A'
ESCALA 1:500



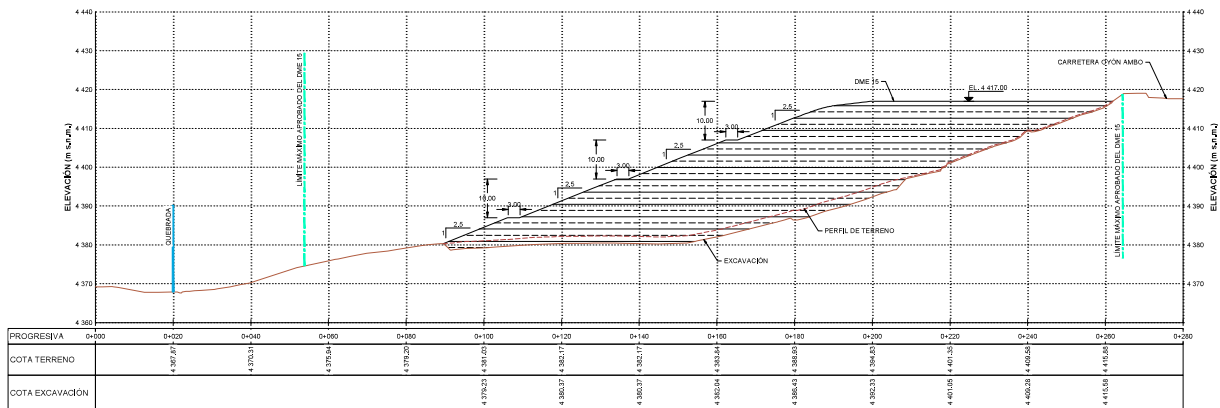
PERFIL LONGITUDINAL B - B'
ESCALA 1:500

LEYENDA	
	MATERIAL DE RELLENO DME 15

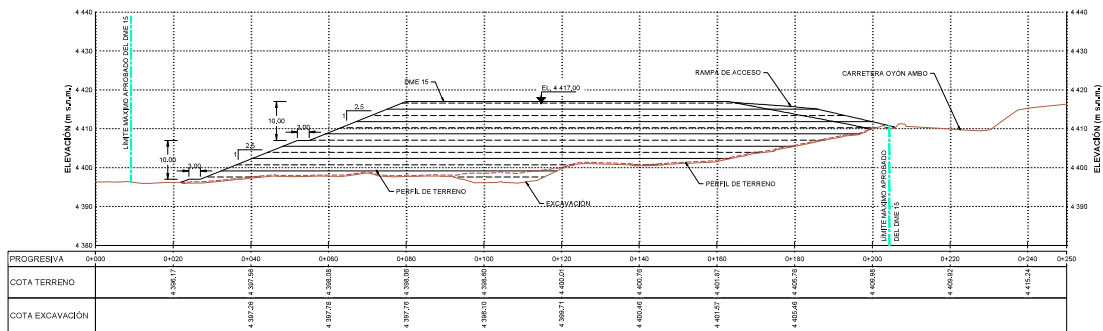
NOTAS:
1. VER NOTAS GENERALES EN PLANO DME-15-GL-001.



 "PROPUESTA DE DISEÑO GEOTÉCNICO PARA UN DEPÓSITO DE MATERIAL EXCEDENTE BASADO EN LA METODOLOGÍA DE HAWLEY - CUNNING" TÍTULO:	
CONFIGURACIÓN FINAL PERFIL LONGITUDINAL A - A' Y B - B'	FECHA: OCTUBRE 2024 DISEÑADOR: DME-15-CV-004

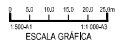


PERFIL LONGITUDINAL C - C'
ESCALA 1: 500



PERFIL LONGITUDINAL D - D'
ESCALA 1: 500

LEYENDA	
	MATERIAL DE RELLENO DME 15



NOTAS:
1. VER NOTAS GENERALES EN PLANO DME-15-01-0201.

"PROPUESTA DE DISEÑO GEOTÉCNICO PARA UN DEPÓSITO DE MATERIAL EXCEDENTE BASADO EN LA METODOLOGÍA DE HAWLEY - CUNNING"	
TÍTULO:	PROYECTO: INDICADA
FECHA:	OCTUBRE 2024
PROYECTO:	DME-15-CV-005