

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA



TESIS PROFESIONAL

ESTABILIDAD DE TALUDES DE LA PRESA DEL

DEPÓSITO DE RELAVES LA ESPERANZA.

**DISTRITO VITOC, PROVINCIA CHANCHAMAYO, DEPARTAMENTO DE
JUNÍN.**

Para Optar el Título de:

INGENIERO GEÓLOGO

Presentado Por:

Bach. Segundo Ysidro Cerquín Cortéz

Asesor:

Mg. Segundo Reinaldo Rodríguez Cruzado

Cajamarca – Perú

2018

AGRADECIMIENTO

A Dios por iluminarme en mi camino día a día.

*A mi Alma Mater Universidad Nacional de Cajamarca y a querida
Escuela Académica Profesional de Ingeniería Geológica, por
brindarme el conocimiento necesario.*

*A mis amigos y compañeros que me han apoyado en el transcurso
de mi investigación.*

*Al Mg. Reinaldo Rodríguez Cruzado por la asesoría para poder
hacer realidad la presente tesis profesional*

DEDICATORIA

Quiero dedicar esta tesis a mi mamá Graciela Colle porque ella le ha dado razón a mi vida, por sus consejos, su apoyo incondicional y su paciencia.

A mis hermanos Juana, Fely, Alberto, Alejandro, Martin, Silverio, David por ser parte de mi vida, por el cariño y amor que les tengo

CONTENIDO

	Pág.
AGRADECIMIENTO	i
DEDICATORIA	ii
CONTENIDO	iii
ÍNDICE DE TABLAS	vi
ÍNDICE DE FIGURAS	vii
ÍNDICE DE FOTOS	vii
ABREVIATURAS	viii
RESUMEN	ix
ABSTRACT	x
CAPÍTULO I	1
INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO II	3
MARCO TEÓRICO	3
2.1 ANTECEDENTES TEÓRICOS DE LA INVESTIGACIÓN.....	3
2.2 BASES TEÓRICAS.....	4
2.2.1 Ensayos de Suelos.....	4
2.2.1.1 Análisis Granulométrico.....	4
2.2.1.2 Límites de Consistencia.....	5
2.2.1.3 Clasificación de Suelos por el Sistema AASHTO.....	6
2.2.1.4 Clasificación de Suelos por el Sistema SUCS.....	6
2.2.1.5 Ensayo de Corte Directo.....	8
2.2.1.6 Ensayo Triaxial.....	9
2.2.2 Criterio de falla de Mohr-Coulomb.....	12
2.2.3 Criterio de macizos rocosos (teoría de Hoek-Brown).....	12
2.2.4 Clasificación del Macizo rocoso.....	13
2.2.5 Factor de seguridad.....	13
2.2.6 Factores de seguridad mínimos permisibles.....	14
2.2.7 Zonificación sísmica de Perú.....	14
2.3 DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS.....	15

	Pág.
CAPÍTULO III.....	15
MATERIALES Y MÉTODOS.....	15
3.1. UBICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN.....	16
3.1.1 Accesibilidad.....	17
3.1.2 Clima y Vegetación.....	17
3.2 PROCEDIMIENTOS.....	17
3.2.1 Etapa Preliminar de Gabinete.....	17
3.2.2 Etapa de Campo.....	18
3.2.3 Etapa de Laboratorio.....	18
3.2.4 Etapa Final de Gabinete.....	18
3.3 METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN.....	19
3.3.1 Variables.....	19
3.3.2 Tipo y Diseño de la Investigación.....	19
3.3.3 Población de Estudio.....	19
3.3.4 Muestra.....	19
3.3.5 Unidad de Análisis.....	19
3.3.6 Técnicas.....	19
3.3.7 Instrumentos de Recolección de Datos.....	19
3.3.8 Equipo de Recolección de Datos.....	21
3.4 GEOLOGÍA DEL ÁREA DE ESTUDIO.....	21
3.5 HIDROLOGÍA.....	22
3.6 HIDROGEOLOGÍA.....	29
3.7 GEOTÉCNIA.....	31
3.7.1 Ejecución de perforaciones.....	31
3.7.2 Ejecución de calicatas y trinchera.....	32
3.7.3 Ensayos de campo.....	33
3.7.4 Ensayos de laboratorio.....	39

	Pág.
CAPÍTULO IV.....	44
ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	44
4.1 RESULTADOS	44
4.2 CÁLCULO DEL FACTOR DE SEGURIDAD.....	47
4.2 DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	58
4.1 CONTRASTACIÓN DE HIPÓTESIS.....	58
CAPÍTULO V.....	59
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	59
5.1 CONCLUSIONES.....	59
5.2 RECOMENDACIONES.....	60
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	61

ANEXO 01: PLANOS

PLANO 01: Ubicación

PLANO 02: Topográfico

PLANO 03: Geológico

PLANO 04: Geotécnico

PLANO 05: Geotécnico de la Infraestructura de la presa.

PLANO 06: Secciones transversales.

ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Límites de Atterberg	5
Tabla 2. Clasificación de suelos según AASHTO.....	6
Tabla 3. Clasificación de suelos según SUCS.....	7
Tabla 4. Coordenadas UTM-WGS-84 de los vértices de la zona de estudio.....	16
Tabla 5. Accesibilidad a la zona de estudio.....	17
Tabla 6. Variables.....	19
Tabla 7. Registro geomecánico de las estaciones.....	20
Tabla 8. Precipitación total anual (mm).....	24
Tabla 9. Temperatura media anual (°C).....	25
Tabla 10. Temperatura mínima media anual (°C).....	26
Tabla 11. Temperatura máxima media anual (°C).....	27
Tabla 12. Humedad relativa mensual (%).....	28
Tabla 13. Evapotranspiración.....	28
Tabla 14. Resumen de Perforaciones Ejecutadas y nivel freático.....	29
Tabla 15. Resumen de ensayos de permeabilidad tipo Lefranc carga constante.....	29
Tabla 16. Resumen general de perforaciones.....	32
Tabla 17. Resumen general de calicatas y trinchera.....	33
Tabla 18. Asignación de valores de la estación de geomecánica EG-01.....	34
Tabla 19. Clasificación de la calidad de la roca según el RMR-89 de la EG-01.....	34
Tabla 20. Asignación de valores de la estación de geomecánica EG-02.....	35
Tabla 21. Clasificación de la calidad de la roca según el RMR-89 de la EG-02.....	36
Tabla 22. Asignación de valores de la estación de geomecánica EG-03.....	36
Tabla 23. Clasificación de la calidad de la roca según el RMR-89 de la EG-03.....	37
Tabla 24. Resumen de estaciones geomecánicas.....	37
Tabla 25. Resumen de ensayos de caracterización física de suelos.....	40
Tabla 26. Resumen de ensayos de gravedad específica.....	41
Tabla 27. Resumen de ensayos de compactación.....	41
Tabla 28. Resumen de ensayos de corte directo.....	42
Tabla 29. Resumen de ensayos triaxial UU y CU.....	42
Tabla 30. Resumen de ensayos de conductividad hidráulica.....	43
Tabla 31. Resumen de los parametros de resistencia de los materiales.....	47
Tabla 32. Resultados del análisis de la estabilidad de los taludes.....	58

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Curva de distribución de partículas.....	4
Figura 2. Equipo del ensayo Corte Directo.....	8
Figura 3. Gráfica de los resultados de la prueba para obtener el ángulo de fricción...	8
Figura 4. Equipo de prueba Triaxial.....	9
Figura 5. Aplicación del esfuerzo en una muestra de suelo.....	10
Figura 6. Circulo de Mohr en rotura en ensayos CD.....	10
Figura 7. Circulo de Mohr en rotura en un ensayo CU.....	11
Figura 8. Circulo de Mohr en rotura en un ensayo UU.....	11
Figura 9. Cohesión y ángulo de fricción del macizo rocoso.....	38
Figura 10. Sección A-A' a condiciones normales.....	49
Figura 11. Sección A-A' a condición pseudo-estático.....	50
Figura 12. Sección A-A' a condición saturada y pseudo-estática.....	51
Figura 13. Sección B-B' a condiciones normales.....	52
Figura 14. Sección B-B' a condición pseudo-estático.....	53
Figura 15. Sección B-B' a condición saturada y pseudo-estática.....	54
Figura 16. Sección C-C' a condiciones normales.....	55
Figura 17. Sección C-C' a condición pseudo-estática.....	56
Figura 18. Sección C-C' a condición saturada y pseudo-estática.....	57

ÍNDICE DE FOTOS

Foto 1. Afloramiento del Granito San Ramón al este de la Presa la Esperanza...	21
Foto 2. Depósito Coluvio-Aluvial en el corte del acceso aguas arriba de la presa.....	22
Foto 3. Depósito Aluvial en una excavación.....	22
Foto 4. Estación geomecánica EG-01.....	34
Foto 5. Estación geomecánica EG-02.....	35
Foto 6. Estación geomecánica EG-03.....	36

ABREVIATURAS

AASHTO	:	Asociación americana de funcionarios de caminos públicos
SUCS	:	Sistema unificado de clasificación de suelos
RMR-89	:	Clasificación del macizo rocoso
EG	:	Estación geomecánica
CD	:	Consolidada drenada
UU	:	No consolidada no drenada
CU	:	Consolidada no drenada
FS	:	Factor de seguridad
MEM	:	Ministerio de Energía y Minas
RQD	:	Designación de la calidad de roca
GSI	:	Índice geológico de resistencia
UTM	:	Universal transversal mercator
ASTM	:	Asociación americana de ensayo de materiales
SENAMHI	:	Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología
K	:	Permeabilidad conductividad hidráulica
MSR	:	Muro de suelo reforzado
MDS	:	Máxima densidad seca
OCH	:	Óptimo contenido de humedad

RESUMEN

La Presa del Depósito de Relaves La Esperanza se encuentra ubicado en el margen derecho del valle del río Tulumayo, en el distrito de Vitoc, provincia de Chanchamayo, departamento de Junín, de la compañía minera San Ignacio de Morococha. Esta investigación consiste en analizar la estabilidad de los taludes del recrecimiento de la Presa La Esperanza, la cual comprende diferentes etapas: la etapa preliminar de gabinete, de campo, de laboratorio y etapa final de gabinete. Se realizó una investigación geotécnica de campo que consistió en las siguientes actividades: Mapeo geológico-geotécnico, ejecución de ocho calicatas y una trinchera, mapeo geomecánico de tres estaciones, tres perforaciones, de donde se obtuvieron muestras para realizar ensayos los cuales proporcionaron características físicas y parámetros de resistencia de los materiales. Geologicamente la presa se cimentará sobre un depósito aluvial compuesto por grabas mal gradadas y arenas limosas y sísmicamente está ubicada en la zona 2 pero por encontrarse muy cerca a la zona 3 se consideró una aceleración máxima de horizontal 0.30, con un coeficiente máximo horizontal de 0.175 y coeficiente máxima vertical de 0.088. Se determinó que el Factor de Seguridad en condiciones normales para las secciones transversales AA', BB' y CC', para condición pseudo-estática son estables por lo cual no fallará pero en condición saturada y pseudo-estática presenta Factores de Seguridad muy cercanos al equilibrio límite lo cual significa que fallará la presa.

Palabras Claves: Recrecimiento, Presa, Talud, Estabilidad.

ABSTRACT

The Esperanza Reservoir Dam is located on the right bank of the Tulumayo River Valley, in the district of Vitoc, Chanchamayo province, department of Junín, in the San Ignacio de Morococha Mining buissnes. This investigation consists of analyzing the stability of the slopes of the Esperanza Dam regrowth, which comprises different stages: the preliminary stage of the cabinet, the field, the laboratory and the final stage of the cabinet. A field geotechnical research was developed, which consisted of the following activities: Geological-geotechnical mapping, execution of eight test pits and a trench, three-station geomechanical mapping, three drilling, where samples were obtained to perform tests which provided characteristics physical and parameters of resistance of materials. Geologically the dam will be built on an alluvial deposit composed of badly graded gravels and silty sands and seismically it is located in zone 2 but because it is very close to zone 3 a maximum horizontal acceleration of 0.30 was considered with a maximum horizontal coefficient of 0.175 and vertical maximum acceleration coefficient of 0.088. It was determined that the safety factor in normal conditions for the cross sections AA', BB' and CC', for the pseudo-static condition are estable so it will not fail but in saturated and pseudo-static condition has safety factors very close to the limit equilibrium which means that wil fail.

Key Words: Regrowth, Dam, Slope, Stability.

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

En el distrito de Vitoc se encuentra el depósito de relaves La Esperanza de la compañía minera San Ignacio de Morococha S.A (SIMSA), donde se va a ejecutar el recrecimiento de la presa de relaves La Esperanza desde la cota aproximada 920 m.s.n.m para llegar a la cota 934 m.s.n.m. Debido a este recrecimiento la estabilidad de los taludes se modificará, al ser afectada por las intensas lluvias que ocurren de enero a mayo condicionando mayores poropresiones, así como la actividad sísmica que está influenciando la zona de investigación.

Desde el año 1998, San Ignacio de Morococha S.A. viene operando el actual depósito de relaves La Esperanza y debido a la proximidad de alcanzar la cota máxima aprobada del depósito (952.6 m.s.n.m.), es conveniente ampliar su capacidad de almacenamiento mediante el recrecimiento de la presa hasta la cota 934 m.s.n.m, de tal manera que podrá depositarse relaves hasta la cota 955.6, el cual representa un crecimiento en altura del 10%. Con la finalidad de adecuarse al Decreto Supremo N^o 054-2013-PCM publicado el 16 de mayo del 2013 emitido por el Ministerio de Energía y Minas. Con lo cual se dispondrán relaves cicloneados finos y grueso de la planta de producción, en promedio deberán ingresar 2,200 TDM para un volumen útil total proyectado de 610,677 m³ en una extensión aproximada de 15.2 Ha. Se realizará el estudio de estabilidad de la presa, para evitar contingencias posibles de rotura o incidentes colaterales. Que puedan deteriorar al suelo modificando sus propiedades físicas y químicas, al aire, el agua; cambios de la calidad del agua, alteración del cauce, caudal y turbiedad del río Tulumayo e inclusive en la alteración de la flora y fauna de la zona donde se encuentra el proyecto.

Es por ello que nos hacemos la pregunta, ¿El recrecimiento de la presa del depósito de relaves la Esperanza, las precipitaciones pluviales y la actividad sísmica de la zona, generan inestabilidad de los taludes?

El objetivo general de la investigación es analizar la estabilidad de los taludes del recrecimiento de la presa La Esperanza, realizando un cartografiado geológico de la zona de estudio y cimentación, ejecución de ensayos geomecánicos, análisis de la información hidrológica y definir los parámetros sísmicos.

En el Capítulo II, desarrollamos el Marco Teórico mencionando antecedentes regionales y locales y las Bases Teóricas referentes a la investigación.

En el Capítulo III, se especifica la ubicación del área de estudio, la accesibilidad. Se explica la metodología y procedimientos utilizados para la investigación. También se describe la investigación geotécnica, hidrología e hidrogeología, los datos recolectados en campo y ensayos geomecánicos analizados mediante los softwares RocData v4, Slide v6 y Autocad v2016.

En el Capítulo IV, Presenta y explica los resultados obtenidos del análisis de los datos de campo, de acuerdo a los objetivos establecidos.

En el Capítulo V, presentan conclusiones y recomendaciones.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 ANTECEDENTES TEÓRICOS DE LA INVESTIGACIÓN

JMF Ingeniería & Construcción S.A.C (2015), realizó el estudio: Recrecimiento del depósito de Relaves La Esperanza; donde detalla el recrecimiento del dique principal y las estructuras que complementan dicho recrecimiento, con la finalidad de incrementar la altura actual del depósito de relaves la Esperanza hasta un 10% así como la capacidad de almacenamiento actual del depósito, teniendo en cuenta el peligro sísmico, la hidrología, geotécnica.

SVS Ingenieros S.A. (2013), realizó el estudio :Evaluación de la Factibilidad Técnica para un Recrecimiento Adicional del Depósito de Relaves- La Esperanza; donde los criterios de diseño para su elaboración han sido los siguientes: los relaves, manejo de aguas, estabilidad física del dique (se tuvo en cuenta en condiciones estáticas y pseudo-estáticas) y el diseño sísmico con una aceleración sísmica 0.13g, de acuerdo con la Guía Ambiental para la Estabilidad de Taludes de Depósitos de Residuos Sólidos Provenientes de Actividades Mineras del MEM dicha fracción está comprendida entre $1/2$ y $2/3$. Ya que está ubicado en la zona II, tiene 0.26g de aceleración sísmica.

Golder Associates Ltd. & Geotécnica Consultores (1997), realizó el: Diseño de la Cancha de relaves la Esperanza y Tubería de conducción; donde contempla la construcción de la cancha de relaves la Esperanza proyectado para capacidad de almacenamiento de 792,000 m³ correspondiente a 6 años de operación de la planta concentradora, equivalente a $2/3$ de la producción total de relaves.

SVS Ingenieros S.A. (2006), realizó el: Diseño del Recrecimiento Final del Depósito de Relaves-La Esperanza; teniendo en cuenta las propiedades geotécnicas de los materiales de la zona, actividad sísmica y las precipitaciones pluviales.

2.2 BASES TEÓRICAS

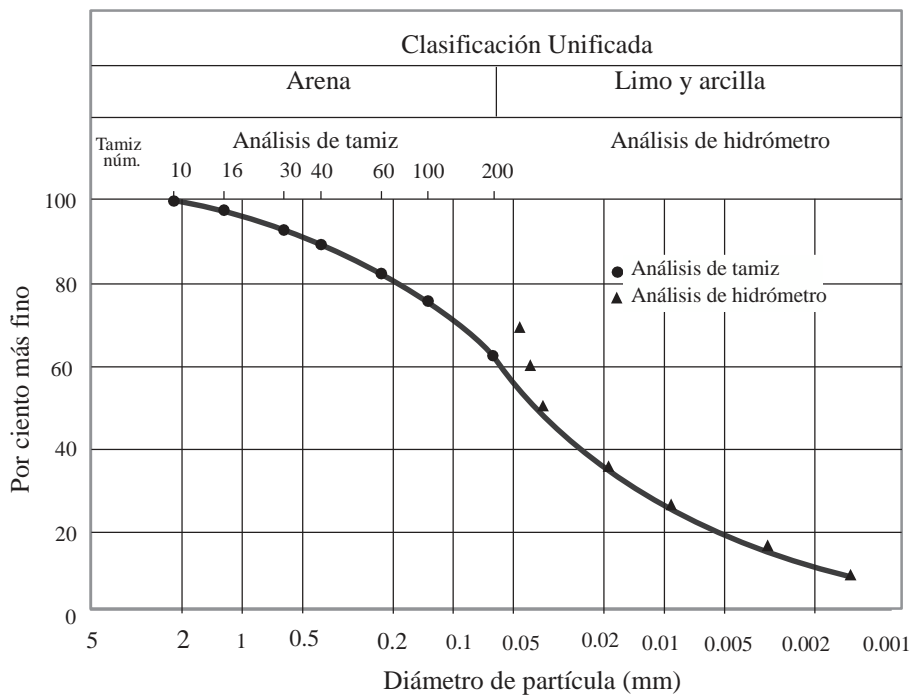
2.2.1 Ensayos de suelos

2.2.1.1 Análisis Granulométrico

Es la distribución del tamaño o diámetro de las partículas en un suelo, determinadas por la abertura del tamiz y el porcentaje de partículas retenidas en cada tamiz.

Existen diferentes procedimientos para la determinación de la composición granulométrica de un suelo. Para clasificar las partículas gruesas, el procedimiento más expedito es de tamizado. Sin embargo, al aumentar la finura de los granos, el tamizado se hace cada vez más difícil teniéndose entonces que recurrir a procedimientos de sedimentación como análisis de hidrómetro (Hoyos 2011).

Figura 1. Curva de distribución de partículas.



Fuente: Tomado de Das 2013.

2.2.1.2 Límites de Consistencia

En el criterio de Das (2012), cuando un suelo arcilloso se mezcla con una cantidad excesiva de agua, puede fluir como un semilíquido. Si el suelo se seca gradualmente, se comportará como un material plástico, semisólido o sólido, dependiendo de su humedad. El contenido de humedad, en porcentaje, en el suelo cambia de un estado líquido a uno plástico se define como límite líquido (LL). De manera similar el contenido de humedad, en porcentaje, en el que suelo cambia de un estado plástico a uno semisólido se definen como límite plástico (LP). A estos límites se les refiere como límites de Atterberg.

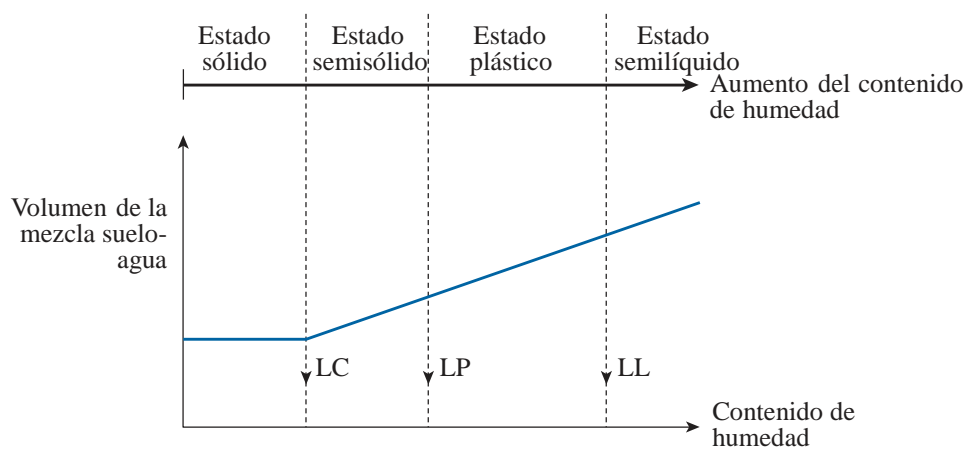
Límite Líquido (LL): Se determina la Copa Casagrande y se define como el contenido de humedad en que se cierra una ranura de 12.7 mm mediante 25 golpes.

Límite Plástico (LP): Se define como el contenido de humedad en el que el suelo se agrieta al formar rollitos de 3.18 mm de diámetro.

Índice de Plasticidad (IP): Es la diferencia Límite Líquido y Límite Plástico.

$$IP = LL - LP$$

Tabla 1. Límites de Atterberg.



Fuente: Tomado de Das 2012.

2.2.1.3 Clasificación de Suelos por el Sistema AASHTO

Fue desarrollado en 1929 como el Public Road Administration Classification System (Sistema de Clasificación de la Oficina de Caminos Públicos). Siendo la revisión actual propuesta por el Committee on Clasification of Materials for Subgrades and Granular Type Roads of highway Research Board (Comité para la Clasificación de Materiales para Subrasantes y caminos Tipo Granulares del Consejo de Investigaciones Carreteras. (Das 2001)

Tabla 2. Clasificación de suelos según AASHTO.

CLASIFICACIÓN GENERAL	MATERIALES GRANULARES (35% O MENOS PASA EL TAMIZ N° 200)						MATERIALES LIMO ARCILLOSOS (MÁS DEL 35% PASA EL TAMIZ N° 200)				
	A - 1		A - 2				A - 3	A - 4	A - 5	A - 6	A - 7
SUB - GRUPOS	A - 1a	A - 1b	A - 2 - 4	A - 2 - 5	A - 2 - 6	A - 2 - 7					A - 7 - 5 A - 7 - 6
Porcentaje que pasa el tamiz:											
N° 10 (2.00 mm)	50 máx.	...	...	..	.	.	.				...
N° 40 (0.425 mm)	30 máx.	50 máx.	...	...	.	.	51 mín				...
N° 200 (0.075 mm)	15 máx.	25 máx.	35 máx.	35 máx.	35 máx.	35 máx.	10 máx	36 mín.	36 mín	36 mín.	36 mín.
Características del material que pasa el tamiz N° 40	.....	.....	40 máx.	41 mín. 10 máx.	40 máx. 11 mín.	41 mín. 11 mín.	.....	40 máx. 10 máx.	41 mín. 10 máx.	40 máx. 11 mín.	41 mín. 11 mín.
Límite Líquido	...	...	10 máx.	0	4 máx.	4 máx.	NP	8 máx.	12 máx.	16 máx.	20 máx.
Indice de Plasticidad	6 máx.	6 máx.	10 máx.	0	4 máx.	4 máx.	0	8 máx.	12 máx.	16 máx.	20 máx.
Indice de grupo	0	0	0	0	4 máx.	4 máx.	0	8 máx.	12 máx.	16 máx.	20 máx.
TIPOS DE MATERIAL	Fragmentos de piedra grava y arena.		Gravas y arenas limosas y arcillosas.				Arena Fina	Suelos limosos.		Suelos arcillosos.	
TERRENO DE FUNDACIÓN	Excelente a bueno.		Excelente a bueno.		Regular		Excelente a bueno	Regular a malo			

Fuente: Tomado de Valera 2013.

2.2.1.4 Sistema de clasificación SUCS

Fue propuesto por Arturo Casagrande en 1942 para utilizarlo en la construcción de aeropuertos emprendida por el Cuerpo de Ingenieros del Ejército durante la segunda guerra mundial. En cooperación con la Oficina de Restauración de Estados Unidos, el Sistema fue revisado en 1952 y en la actualidad es ampliamente usado por los ingenieros (Das 2011).

Tabla 3. Clasificación de suelos según SUCS.

DIVISIONES PRINCIPALES			Símbolos del grupo	NOMBRES TÍPICOS	IDENTIFICACIÓN DE LABORATORIO		
SUELOS DE GRANO GRUESO Más de la mitad del material retenido en el tamiz número 200	GRAVAS Más de la mitad de la fracción gruesa es retenida por el tamiz número 4 (4,76 mm)	Gravas limpias (sin o con pocos finos)	GW	Gravas, bien graduadas, mezclas grava-arena, pocos finos o sin finos.	Determinar porcentaje de grava y arena en la curva granulométrica. Según el porcentaje de finos (fracción inferior al tamiz número 200). Los suelos de grano grueso se clasifican como sigue: <5% >GW,GP,SW,S P. >12% >GM,GC,SM,SC . 5 al 12% >casos límite que requieren usar doble símbolo.	$Cu = D_{60}/D_{10} > 4$ $Cc = (D_{30})^2/D_{10} \times D_{60}$ entre 1 y 3	
			GP	Gravas mal graduadas, mezclas grava-arena, pocos finos o sin finos.		No cumplen con las especificaciones de granulometría para GW.	
		Gravas con finos (apreciable cantidad de finos)	GM	Gravas limosas, mezclas grava-arena limo.		Límites de Atterberg debajo de la línea A o $IP < 4$.	Encima de línea A con IP entre 4 y 7 son casos límite que requieren doble símbolo.
			GC	Gravas arcillosas, mezclas grava-arena arcilla.		Límites de Atterberg sobre la línea A con $IP > 7$.	
	ARENAS Más de la mitad de la fracción gruesa pasa por el tamiz número 4 (4,76 mm)	Arenas limpias (pocos o sin finos)	SW	Arenas bien graduadas, arenas con grava, pocos finos o sin finos.		$Cu = D_{60}/D_{10} > 6$ $Cc = (D_{30})^2/D_{10} \times D_{60}$ entre 1 y 3	
			SP	Arenas mal graduadas, arenas con grava, pocos finos o sin finos.		Cuando no se cumplen simultáneamente las condiciones para SW.	
		Arenas con finos (apreciable cantidad de finos)	SM	Arenas limosas, mezclas de arena y limo.		Límites de Atterberg debajo de la línea A o $IP < 4$.	Los límites situados en la zona rayada con IP entre 4 y 7 son casos intermedios que precisan de símbolo doble.
			SC	Arenas arcillosas, mezclas arena-arcilla.		Límites de Atterberg sobre la línea A con $IP > 7$.	
SUELOS DE GRANO FINO Más de la mitad del material pasa por el tamiz número 200	Limos y arcillas: Límite líquido menor de 50	ML	Limos inorgánicos y arenas muy finas, limos limpios, arenas finas, limosas o arcillosas, o limos arcillosos con ligera plasticidad.				
		CL	Arcillas inorgánicas de plasticidad baja a media, arcillas con grava, arcillas arenosas, arcillas limosas.				
		OL	Limos orgánicos y arcillas orgánicas limosas de baja plasticidad.				
	Limos y arcillas: Límite líquido mayor de 50	MH	Limos inorgánicos, suelos arenosos finos o limosos con mica o diatomeas, limos elásticos.				
		CH	Arcillas inorgánicas de plasticidad alta.				
		OH	Arcillas orgánicas de plasticidad media a elevada; limos orgánicos.				
Suelos muy orgánicos		PT	Turba y otros suelos de alto contenido orgánico.				

Fuente: Tomado de Das 2011.

2.2.1.5 Ensayo de corte directo

Consiste en que la muestra de suelo se coloca en una caja de acero rígida que está dividida en dos mitades. Primero se aplica una carga normal a la muestra. Luego se aplica una fuerza cortante a la parte superior de la caja de corte para causar la falla de la muestra del suelo. Con este ensayo podemos encontrar la cohesión y el ángulo de fricción de la muestra.

Figura 2. Equipo del ensayo Corte Directo (Das 2012)

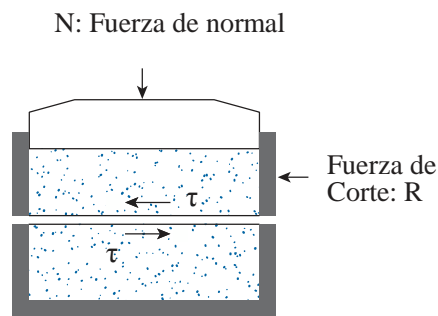
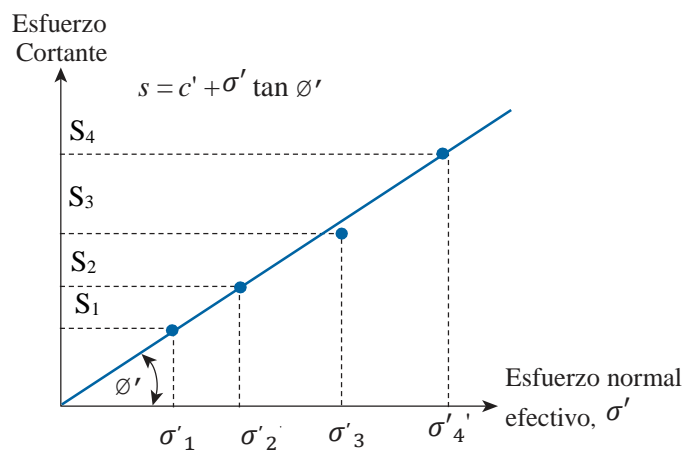


Figura 3. Gráfica de los resultados de la prueba para obtener el ángulo de fricción (Das 2012).



Donde:

S: Esfuerzo cortante. $\sigma' = N/A$ y $S = R/A$ (Ecuación 1)

σ' : Esfuerzo normal efectivo.

ϕ' : Ángulo de fricción.

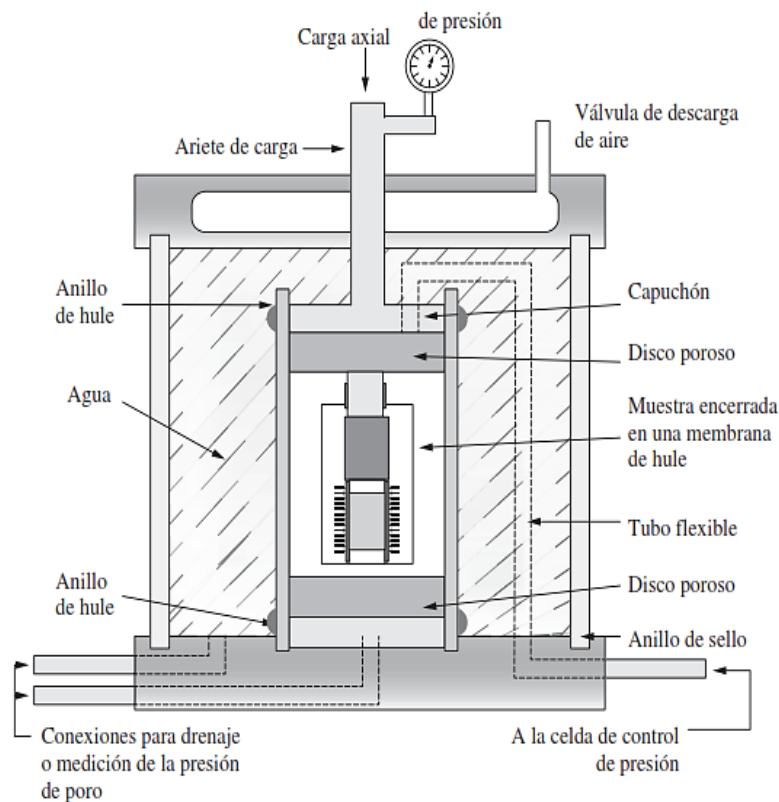
c' : Cohesión.

A: Área del plano de falla en suelo (sección transversal de la caja de corte).

2.2.1.6 Ensayo Triaxial

La muestra está encerrada por una fina membrana de hule y se coloca dentro de una cámara cilíndrica de plástico que por lo general se llena de agua o glicerina. La muestra es sometida a una presión de confinamiento por la compresión del fluido en la cámara. Para causar la falla cortante en la muestra se aplica esfuerzo axial a través de un pistón de carga vertical a veces llamado esfuerzo desviador. Nos determina los parametros de resistencia del suelo y proporciona información sobre el comportamiento esfuerzo (Kpa)-deformación (%) (Das 2011).

Figura 4. Equipo de prueba Triaxial.



Se pueden ejecutar tres tipos de pruebas con el equipo triaxial:

- Prueba Consolidada Drenada (CD)
- Prueba Consolidada no Drenada (CU)
- Prueba no Consolidada no Drenada (UU)

Prueba Consolidada Drenada (CD):

Hay dos fases básicas del ensayo, la primera fase consiste en aplicar una presión de cámara (σ_3) y una presión de poro (u) dejando que la muestra drene libremente de tal manera que lo excesos de presión de poro se irán disipando paulatinamente, hasta alcanzar la consolidación completa.

La segunda fase, es la aplicación del esfuerzo desviador $\Delta\sigma$ lentamente, se permite el drenaje tal que la presión de poro del agua desarrollada mediante la aplicación del esfuerzo desviador que es igual cero (Das 2011).

Figura 5. Aplicación del esfuerzo en una muestra de suelo (Das 2011).

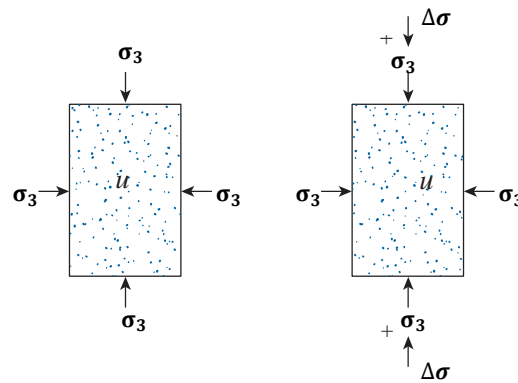
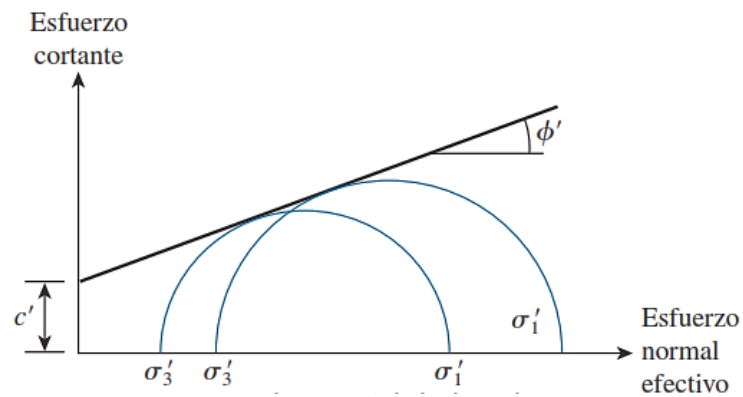


Figura 6. Circulo de Mohr en rotura en ensayos CD (Das 2011).

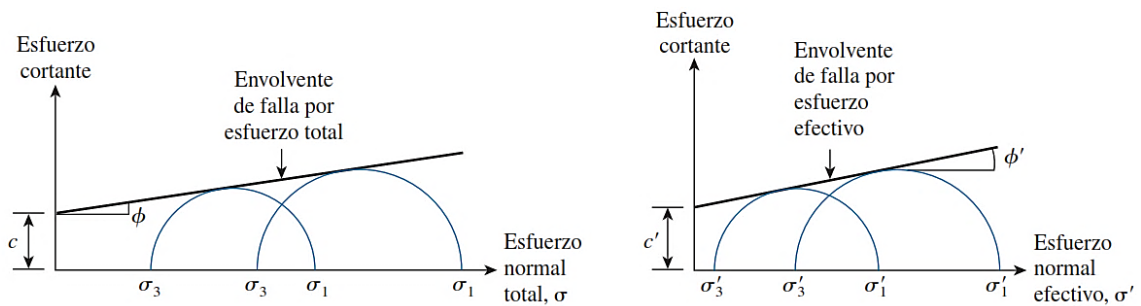


Prueba Consolidada no Drenada (CU):

La primera fase es igual que la anterior prueba CD, una vez alcanzado la consolidación se cierra válvula de drenaje e introducción de presión de poro.

Para luego comenzar con segunda fase, la aplicación del esfuerzo desviador $\Delta\sigma$ lentamente, no se permite el drenaje. La presión de poro del agua desarrollada mediante la aplicación del esfuerzo desviador que es diferente a cero.

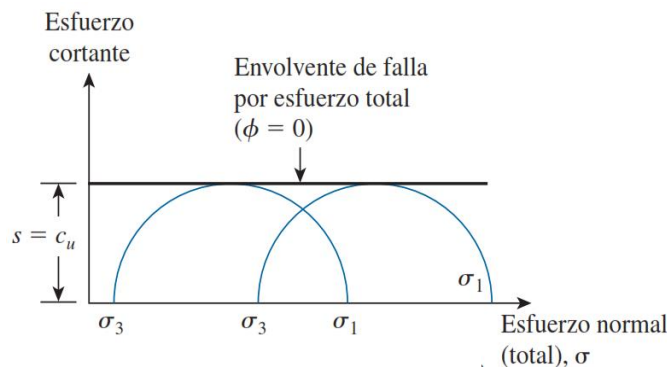
Figura 7. Circulo de Mohr en rotura en un ensayo CU (Das 2011).



Prueba no Consolidada no Drenada (UU):

En la primera fase hay una particularidad donde permanece cerrada la válvula de drenaje e introducción de presión de poro pero si se aplica presión de cámara. Para luego comenzar con segunda fase, la aplicación del esfuerzo desviador $\Delta\sigma$ lentamente. Si la probeta está saturada, en ausencia de drenaje toda la tensión total de cámara se transmite al líquido intersticial y por lo tanto las tensiones efectivas en el suelo no varían (Das 2011).

Figura 8. Circulo de Mohr en rotura en un ensayo UU (Das 2011).



2.2.2 Criterio de falla de Mohr-Coulomb

Mohr en el año 1900, presentó su teoría sobre la ruptura de los materiales la cual afirma que un material falla debido a una combinación crítica de esfuerzo normal y esfuerzo cortante, y no sólo por la presencia de un esfuerzo máximo normal o bien de un esfuerzo máximo cortante (Das 2001).

2.2.3 Criterio de Macizos Rocosos (Teoría de Hoek-Brown)

Desarrollado por E. Hoek y E. T. Brown en 1980, para determinar la resistencia al esfuerzo, en macizos rocosos, teniendo en cuenta el tamaño de la muestra, influenciadas por el agua, propiedades de roca intacta, índice geológico de resistencia y módulo de deformación, siendo la ecuación mostrada (Hoek-Brown 2002). Está expresada por:

$$\sigma'_1 = \sigma'_3 + \sigma_{ci} \left(m_b \frac{\sigma'_3}{\sigma_{ci}} + s \right)^a \dots\dots \text{(Ecuación 2)}$$

m_b es la constante del material relacionada con m_i :

$$m_b = m_i \exp\left(\frac{GSI-100}{28-14D}\right) \dots\dots \dots \text{(Ecuación 3)}$$

Además s y a son constantes del macizo rocoso, dada por las relaciones siguientes:

$$s = \exp\left(\frac{GSI-100}{9-3D}\right); a = \frac{1}{2} + \frac{1}{6} \left(e^{-\frac{GSI}{15}} - e^{-\frac{20}{3}} \right) \dots\dots\dots \text{(Ecuación 4)}$$

También D es un factor que depende del grado de alteración a la que ha sido sometido el macizo rocoso, es decir daño por explosión provocando compresión y relajación de las tensiones. Varía desde 0 cuando no hay perturbación o no existen problemas producto de la explosión en el macizo rocoso in situ a 1 para macizos rocosos muy perturbados (Hoek et al. 2002)

2.2.4 Clasificación del Macizo Rocoso-RMR 89

Desarrollada por Bieniawski en 1973, con actualizaciones en 1979 y 1989, constituye un sistema de clasificación de macizos rocosos que permite a su vez relacionar índices de calidad con parámetros geotécnicos del macizo y de excavación y sostenimiento en túneles y taludes (Gonzales 2002). Esta clasificación tiene en cuenta los siguientes parámetros geomecánicos:

- Resistencia uniaxial de la matriz rocosa.
- Grado de fracturación en términos del RQD.
- Espaciado de las discontinuidades.
- Condiciones de las discontinuidades.
- Condiciones hidrogeológicas.
- Orientación de las discontinuidades con respecto a la excavación.

La incidencia de estos parámetros en el comportamiento geomecánico de un macizo se expresa por medio del índice de calidad RMR, que varía de 0 a 100.

2.2.5 Factor de Seguridad

Este factor de seguridad con respecto a la resistencia está definido por la ecuación 1, obtenida de (Das 1984).

$$FS_s = \frac{\tau_f}{\tau_d} \dots\dots \text{(Ecuación 5)}$$

Donde:

FS_s = Factor de seguridad con respecto a la resistencia

τ_f = Resistencia cortante del suelo.

τ_d = Esfuerzo cortante promedio a lo largo de la superficie de falla.

La resistencia cortante de un suelo consta de dos componentes, la cohesión y la fricción, según (Das 1984), indicado en la ecuación 5.

$$\tau_d = c + \sigma' \tan \phi \dots\dots \text{(Ecuación 6)}$$

Donde:

$c = \text{Cohesión}$ $\phi = \text{Ángulo de fricción drenada.}$

$\sigma' = \text{Esfuerzo normal efectivo sobre la superficie potencial de falla}$

2.2.6 Factores de seguridad mínimos permisibles

Los factores de seguridad mínimos considerados son aquellos recomendados por la Guía Ambiental para la Estabilidad de Taludes de Depósito de Residuos Sólidos Provenientes de Actividad Mineras del Ministerio de Energía y Minas (MEM). Donde menciona para condiciones de análisis normales un FS mínimo permisible de 1.5 y para un análisis Pseudo-estático un FS mínimo permisible de 1.3.

2.2.6 Zonificación Sísmica del Perú

El Decreto Supremo N° 003-2016-Vivienda que modifica la norma técnica E.030 “Diseño Sismorresistente” del Reglamento Nacional De Edificaciones, aprobada por Decreto Supremo N° 011-2006-Vivienda.

Donde al territorio nacional se considera dividido en cuatro zonas, como se muestra en el Anexo 07. La zonificación propuesta se basa en la distribución espacial de la sismicidad observada, las características generales de los movimientos sísmicos y la atenuación de éstos con la distancia epicentral, así como en la información neotectónica. A cada zona se asigna un factor Z según se indica en la Tabla que está en el Anexo 07.

Esta Norma establece las condiciones mínimas para que las edificaciones diseñadas tengan un comportamiento sísmico acorde con los principios siguientes:

- Evitar pérdida de vidas humanas.
- Asegurar la continuidad de los servicios básicos.
- Minimizar los daños a la propiedad.

2.3 DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS

Talud: Superficie inclinada del terreno se extiende de la base a la cumbre de un cerro. (Dávila 2015)

Macizo rocoso: Masa rocosa afectada por discontinuidades o superficies de debilidad. (González 2002).

Arcillas: Partículas finas con tamaño de grano menor a $2\ \mu\text{m}$ (0,002 mm) provenientes de la alteración física y química de rocas y minerales. (MTC 2013).

Calicata: Exploración que se hace en cimentaciones de edificios, muros, caminos, etc., para determinar, identificar y clasificar los materiales constituyentes de los suelos de fundación, a través de estratigrafía y ensayos. (Hoyos 2012).

Limos: Partículas de roca o minerales cuyas dimensiones están entre 0,02 y 0,002 mm. (MTC 2013).

Índice de Plasticidad: Diferencia numérica entre el Límite Líquido y el Límite Plástico de un suelo. (Hoyos 2011).

Límite Líquido: Contenido de agua del suelo entre el estado plástico y el líquido de un suelo. (Hoyos 2011).

Límite Plástico: Contenido de agua de un suelo entre el estado plástico y el semi-sólido. (Hoyos 2011).

Cuarteo: Procedimiento de división de la muestra en cuatro cuadrantes, luego se mezcal el material de dos cuadrantes opuestos y se repite la operación hasta obtener la cantidad deseada. (Crespo 1980).

CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

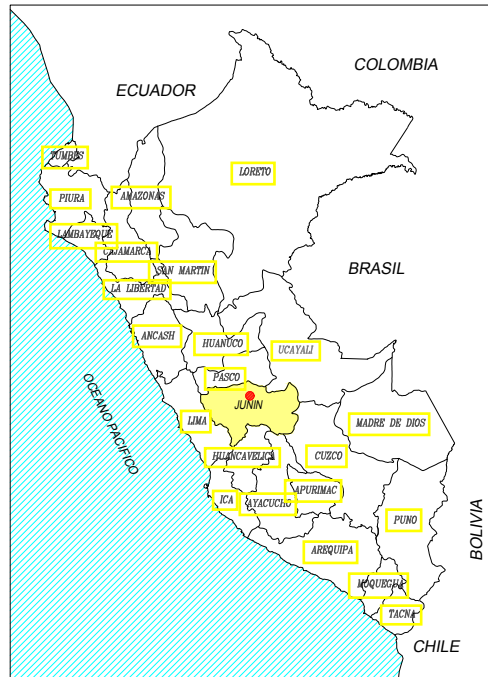
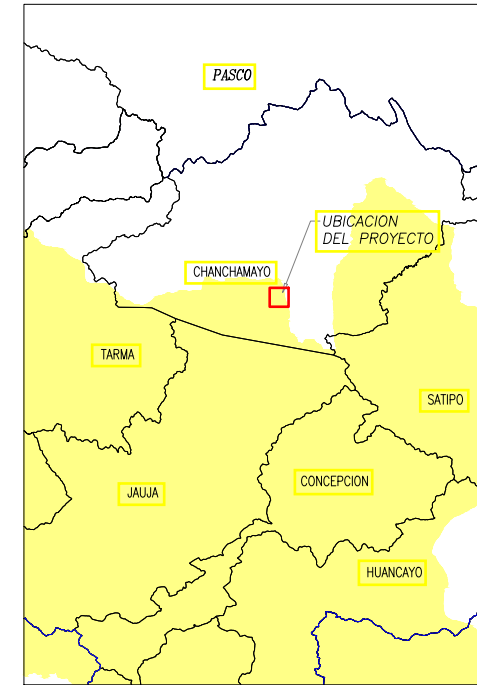
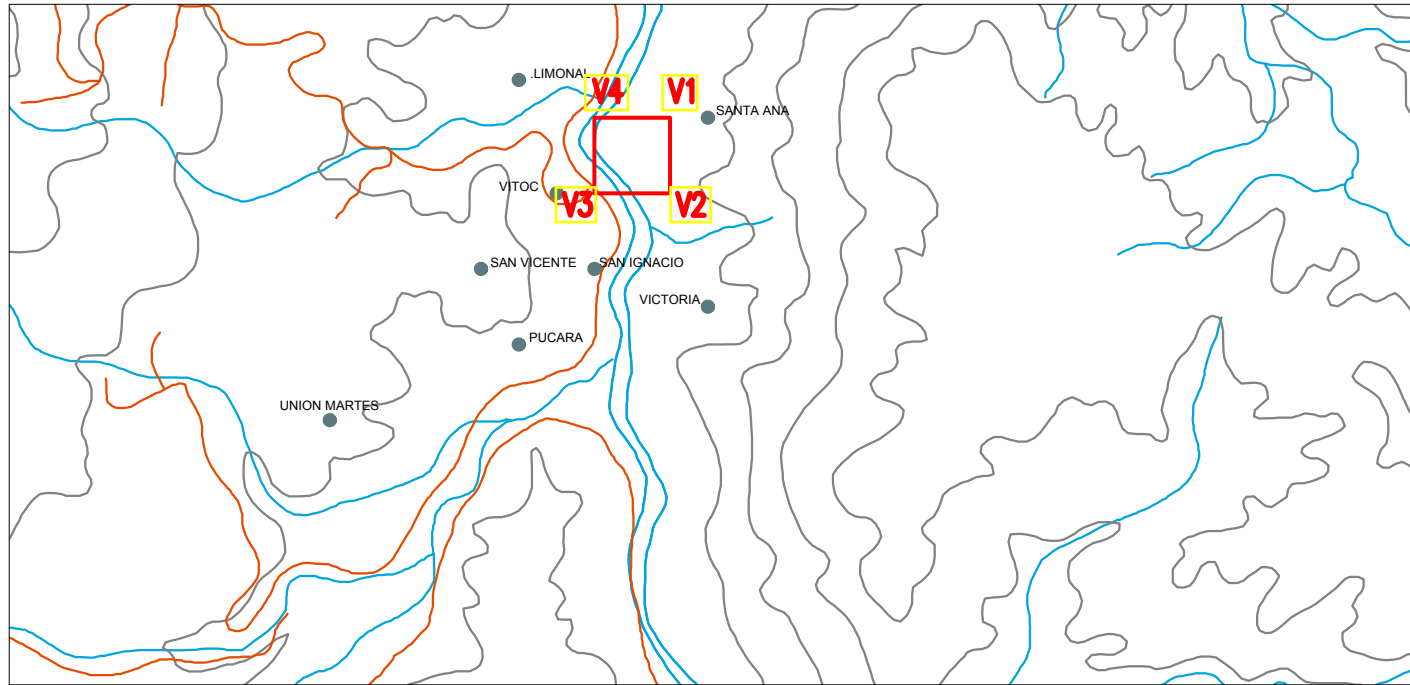
3.1 UBICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

La Presa del depósito de relaves la Esperanza se encuentra ubicado en el margen derecho del valle del río Tulumayo, distrito de Vitoc, provincia de Chanchamayo, departamento de Junín.

Tabla 4. Coordenadas UTM-WGS-84 de los vértices de la zona de estudio

Vértice	Este	Norte
V1	463904	8761976
V2	463636	8761976
V3	463688	8762375
V4	463970	8762356

El proyecto de estudio se encuentra a una altitud promedio de 920 m.s.n.m. Unidad minera San Vicente Zona: UTM WGS-84, Zona 18 S en el cuadrángulo de la Merced específicamente en la carta 23 m. ver plano01



LEYENDA

- UBICACION DEL PROYECTO**
- DISTRITO : VITOC
- PROVINCIA : CHANCHAMAYO
- DEPARTAMENTO : JUNIN

SIMBOLOGÍA:

- CURVAS DE NIVEL
- ACCESO EXISTENTE
- RÍO EXISTENTE
- PUEBLOS



UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA

FACULTAD DE INGENIERÍA - E.A.P DE INGENIERÍA GEOLÓGICA

Plano: UBICACIÓN DEL PROYECTO

Sistema: UTM- WGS84

Tesista: Bach. SEGUNDO YSIDRO CERQUÍN CORTÉZ

Escala: Sin escala

Asesor: Mg. SEGUNDO REINALDO RODRIGUEZ CRUZADO

Fecha: Mayo del 2018

N°:

01

3.1.1 Accesibilidad

El acceso a la zona de estudio puede realizarse por vía terrestre a través de la Carretera del norte y central siguiendo la ruta Cajamarca-Lima-San Ramón- Vitoc, en un viaje aproximado de 23 horas por una carretera asfaltada de 1183 km.

Tabla 5: Accesibilidad a la zona de estudio

Vía	Tramo	Distancia (Km.)	Carretera	Tiempo (Horas)	Estado
Terrestre	Cajamarca – Lima	850	Asfaltada	15.0	Buena
	Lima – San Ramón	321	Asfaltada	8.0	Buena
	San Ramón – Vitoc	12	Afirmada	0.5	Regular

3.1.2 Clima y vegetación

El clima del área está clasificado como típico de la ceja de selva peruana, con temperaturas medias diarias que oscilan entre 20 y 33.4⁰C, siendo el valor promedio igual a 23.7⁰C. La humedad relativa varía entre 55% y 100%, con un valor medio de 76% y una precipitación media anual 1918 mm (SENAMHI, 2016). La cobertura vegetal está caracterizada por sembríos y matorrales húmedos.

3.2 PROCEDIMIENTOS

3.2.1 Etapa preliminar de gabinete

Antes de iniciar el trabajo de campo, se recopiló toda la información relacionada con el tema a investigar.

La información bibliográfica, cartográfica y documental existente acerca del tema de investigación. Para lo cual se recurrió a la consulta de tesis, libros, estudios realizados por otras consultoras y bibliográfica buscada en internet

3.2.2 Etapa de campo

Se desarrolló un programa de investigación geotécnica de campo que consistió en las siguientes actividades: Mapeo geológico-geotécnico, ejecución de ocho (08) calicatas y una (01) trinchera, mapeo geomecánico de tres (03) estaciones, tres (03) perforaciones.

3.2.3 Etapa de laboratorio

Así mismo, se realizó la toma de muestras representativas de los diferentes materiales identificados para ser analizados en los laboratorios de JMF Ingeniería y construcción, AUSENCO Laboratorio Geotécnico y MSN Geotécnia; en la ciudad de Lima. Para hallar los parámetros físicos como: granulometría, clasificación SUCS y AASHTO, contenido de humedad, pesos específicos, límites de consistencia y los parámetros de resistencia con los ensayos de corte directo y triaxiales.

3.2.4 Etapa final de gabinete

En esta fase toda la data de campo fue estudiada, analizada y procesada, los resultados plasmados en cuadros, figuras y planos.

Los datos tomados en cada estación geomecánica, todos estos anotados en la ficha de registro geológico - geotécnico como: Coordenadas UTM, cota, formación geológica, la meteorización, grado de fracturamiento, calidad de la roca , índice geológico de resistencia, así como las propiedades de las discontinuidades, todos estos datos fueron analizados para caracterizar el macizo rocoso de cada estación geomecánica.

Luego con el Software RocdataV.3, obteniendo las constantes empíricas del macizo rocoso (m , s y a), los parámetros resistentes del macizo (C y \emptyset).

Tambien se calcularon los parametros resistencia obtenidos del suelo y relave (C y \emptyset) con los ensayos triaxiales y corte directo. Para hallar el factor de seguridad de los taludes estudiados se utilizó el Software Slide V.6.

Los datos geológicos de campo fueron analizados y plasmados en un plano topográfico y plano geológico, para tal procesamiento se utilizó el Software Autocad V2016.

3.3 METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

3.3.1 Variables

Tabla 6: Variables

Variable independiente	Variable dependiente
Sismicidad	Deslizamientos
Precipitación	

3.3.2 Tipo y diseño de la investigación

El tipo es descriptiva, correlacional y explicativa, no experimental y transversal en el tiempo. Los métodos de investigación usados son: descriptiva, analítica y explicativa.

3.3.3 Población de estudio

Recrecimiento de la presa del depósito de Relaves La Esperanza

3.3.4 Muestra

Muestras de suelo, de perforaciones y de cantera y relave.

3.3.5 Unidad de análisis

Taludes de la presa la Esperanza

3.3.6 Técnicas

Observación directa; del macizo rocoso, calicatas y perforaciones para describir las propiedades físicas. Toma de fotografías de las muestras y se usó fichas geotécnicas para la recolección de datos de campo hasta el ingreso de la información a los softwars.

3.3.7 Instrumentos de recolección de datos

Se utilizó la Tabla 7 para recolectar datos de las estaciones geomecánicas.

Tabla 7. Registro geomecánico de las estaciones

REGISTRO GEOLÓGICO-GEOTECNICO																					
REGISTRO N° : Datos de campo																					
RESPONSABLE : Segundo Cerquin Cortez																					
SISTEMA : WGS84																					
CODIGO :																					
FECHA : Junio 2015																					
Recrecimiento de la Presa del Depósito de Relaves La Esperanza																					
DIS Nro	DATA GPS.			MACIZO ROCOSO				PROPIEDADES DE LAS DISCONTINUIDADES CARTOGRAFIADAS													
	ESTE	NORTE	COTA	LITOLOG / FORMA C.	METEORIZ	GRADO	RQD	GSI	TIPOS	RESIST. COMP. UNIA X	DIRECCIÓN		ESPACIADO (m)	PERSIS (m)	ABERTUR A (mm)	RUGOS.	RELLENO		ALTERAC- M ETEOR	AGUA	C ALIDAD DE INFOR M .
					1=Fresco	DE					λ	σ _{ci} (Mpa)					ORIENTACIÓN	TIPO				DUREZA
					2=Lev	FRACT.	2=Bloq -irregular	DIP															DD

Fuente: Rodríguez (2014)

3.3.7 Equipo de recolección de datos

- Brújula Brunton, utilizada para la toma de datos de direcciones de discontinuidades y planos de estratificación.
- GPS. Navegador Garmin Mal 60 Cx, utilizado para toma de puntos y para la ubicación de las estaciones geomecánicas.
- Camioneta 4x4 Hillux, Transporte de las muestras y del personal.
- Wincha (30m) y Flexómetro (5m); usado para calcular el RQD de los macizos rocosos.
- Cámara fotográfica digital Sony DSC-W310; para obtener el registro fotográfico.
- Picota geológica, equipo utilizado para obtener muestras y determinar la resistencia uniaxial del macizo rocoso.
- Software Autocad v 2016 (elaborar planos y crear perfiles), rocdata v4 (parámetros de resistencia), slide v6 (calcular el factor de seguridad).
- Computadoras de escritorio y laptop; procesamiento de datos y realizar los informes.
- Libretas de campo, lapiceros y lápices; anotaciones y cartografiado.
- Bolsas de muestreo y sacos de polietileno; utilizados para la toma de muestras.

3.4 GEOLOGÍA DEL ÁREA DE ESTUDIO

Granito San Ramón (Ts-gr)

La litología predominante es el granito de color gris-rojizo; moderadamente resistente a muy resistente, moderadamente alterada, fracturada, tiene gran ámbito de influencia en la zona Este del Depósito de Relaves La Esperanza. El basamento rocoso también está formado por el Granito de San Ramón a una profundidad de 28.80m de acuerdo a la perforación P-02.

Según Dávila et al. (2000), en el Permiano

intruyeron rocas plutónicas representadas por el Granito de San Ramón y la Granodiorita de Tarma que constituyen un batolito de amplitud regional.



Foto 1. Afloramiento del Granito San Ramón al Este de la Presa la Esperanza

Depósito Coluvio- Aluvial (Qh-co/al)

En las laderas situadas aguas arriba del depósito de relaves se advierte la presencia de depósitos Coluvio-Aluviales constituidos por gravas, arenas y arcilla de tonos rojizos y baja plasticidad englobados por fragmentos de roca angulosos de diferentes tamaños.



Foto 2. Depósito Coluvio-Aluvial en el corte del acceso aguas arriba de la presa.

Depósito Aluvial (Qh-al)

Conformado por material fragmentado transportado y acumulado por la acción de corrientes fluviales, se ubica rellenando el valle del río Tulumayo sobre el basamento rocoso; la naturaleza del suelo aluvial es heterogéneo tanto en forma como tamaño; están constituidos por gravas mal gradadas “GP” y arenas limosas con gravas “SM”. Tiene ámbito de influencia en la zona noroeste del depósito de relaves



Foto 3. Depósito Aluvial en una excavación

3.5 HIDROLOGÍA

De acuerdo con SENAMHI (2015), como parte del desarrollo de la ingeniería básica se requiere la actualización del estudio hidrológico del área del proyecto, para lo cual se utilizó la data meteorológica de la estación regionales más cercanas a la mina. Estas son administradas por el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI) que cuenta con información disponible. En las siguientes secciones se describen los análisis realizados y los resultados obtenidos.

Las condiciones climáticas en el sector de la confluencia de los ríos Puntayacu y Tulumayo serían similares a las registradas en la estación meteorológica de San Ramón, distante a 10 km del Depósito de Relaves “La Esperanza”, y ubicada aproximadamente a la misma altitud. La cuenca del río Tulumayo nace a los 5350 msnm, mientras que el curso principal tiene una longitud de 89.5 km, el área de esta cuenca es de 3059 Km². La evaluación climática del área del proyecto se basa en la descripción de la precipitación, humedad relativa y temperatura que se tomaron de estudios hidrológicos previos y actualizados en el presente documento.

Precipitación

La precipitación anual tiene un valor promedio de 1918.5 mm, valor máximo de 2675.7 mm y valor mínimo de 751.9 mm ver en la Tabla 8.

Temperatura

La temperatura media anual tiene un valor promedio de 24.3°, la temperatura mínima anual es de 19.2° y la temperatura máxima anual es de 29.9° ver en la Tabla 9, Tabla 10 y Tabla 11.

Humedad relativa

La humedad relativa media mensual es 50.8%, la máxima mensual presenta un valor promedio de 53.4% y la mínima es 48.1 ver en la Tabla 12.

Evapotranspiración

La evapotranspiración media mensual 77.4, la máxima mensual es 82.2 del mes de y la mínima mensual es 69.0 ver en la Tabla 13.

Tabla 8. Precipitación total anual (mm)- Estación San Ramón (2011)

Año	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Total
1970	251.8	167.0	190.7	381.0	123.0	80.0	148.3	73.0	202.0	265.0	85.5	224.3	2191.6
1971	214.3	183.2	163.7	102.4	107.3	105.5	76.0	144.0	81.3	298.0	168.0	246.3	1890.0
1972	200.8	S/D	202.8	331.4	134.3	53.1	75.8	70.3	184.2	234.2	253.9	234.7	1975.5
1973	420.4	380.3	238.1	448.7	151.2	157.6	139.8	204.7	120.8	156.2	S/D	S/D	2417.8
1974	S/D	S/D	373.9	275.4	23.3	96.4	122.8	216.4	28.6	213.2	81.0	278.4	1709.4
1975	303.2	410.3	334.1	207.4	221.5	202.4	42.5	131.1	167.3	204.5	151.1	300.3	2675.7
1976	349.8	216.5	228.2	106.0	133.9	130.1	31.3	129.1	121.2	49.0	60.9	216.2	1772.2
1977	140.8	302.4	S/D	244.8	42.7	64.2	93.8	88.7	94.5	127.1	247.1	132.8	1578.9
1978	249.9	175.7	259.9	179.9	87.2	32.1	36.0	54.7	139.6	211.3	96.1	257.6	1780.0
1979	125.4	197.5	286.3	251.9	184.2	12.4	81.9	71.5	79.0	130.4	281.9	206.9	1909.3
2005	S/D	S/D	S/D	183.4	30.2	69.8	167.3	88.6	44.5	168.1	S/D	S/D	751.9
2006	386.8	240.5	202.0	465.7	40.1	83.0	101.4	21.6	106.8	138.5	162.8	147.8	2097.0
2007	405.0	177.7	256.8	113.3	105.5	21.0	60.0	79.8	154.1	138.0	103.4	174.0	1788.6
2008	414.4	262.3	252.7	166.1	50.1	35.9	71.6	83.5	159.4	304.3	102.5	223.3	2126.1
2009	225.5	259.4	244.8	414.1	42.6	14.2	119.6	20.3	77.5	117.8	100.5	232.2	1868.5
2010	222.3	275.8	282.1	217.1	78.3	30.6	9.9	11.4	97.8	91.0	196.8	452.8	1965.9
2011	205.8	226.9	238.9	239.4	106.5	47.0	136.6	96.5	94.4	205.3	161.3	357.2	2115.8
Máxima	420.4	410.3	373.9	465.7	221.5	202.4	167.3	216.4	202.0	304.3	281.9	452.8	2675.7
Media	274.4	248.3	250.3	254.6	97.8	72.7	89.1	93.2	114.9	179.5	150.2	245.7	1918.5
Mínima	125.4	167.0	163.7	102.4	23.3	12.4	9.9	11.4	28.6	49.0	60.9	132.8	751.9
Desv. Est.	99.0	74.9	54.2	116.6	56.7	52.9	45.3	57.7	47.9	71.3	69.2	80.5	402.9

Fuente: SENAMHI 2015

S/D : Sin Dato, Datos inicialmente catalogados por SENAMHI con S/D, que han sido completados con la media de los registros disponibles

Tabla 9. Temperatura media anual (°C)- Estación San Ramón (2011)

Año	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Total
2005	S/D	S/D	S/D	25.8	25.4	23.4	23.3	24.2	25.1	25.3	S/D	S/D	24.6
2006	24.9	24.6	25.0	24.7	23.2	21.8	21.6	24.1	24.1	24.2	24.6	24.5	23.9
2007	25.4	24.9	24.8	25.1	24.2	23.8	23.5	23.3	24.1	24.9	25.1	25.1	24.5
2008	24.2	24.1	23.7	24.6	23.1	23.9	24.5	24.8	24.3	24.6	25.0	24.6	24.3
2009	23.2	23.2	23.6	23.9	24.8	23.2	23.4	24.7	24.6	24.7	25.9	23.9	24.1
2010	24.1	23.8	24.0	23.8	23.4	23.1	23.5	23.7	23.3	24.9	24.9	25.1	24.0
2011	24.0	24.4	24.6	24.8	24.6	23.7	23.4	23.5	24.4	25.0	25.2	24.4	24.3
Máxima	25.4	24.9	25.0	25.8	25.4	23.9	24.5	24.8	25.1	25.3	25.9	25.1	24.6
Media	24.3	24.2	24.3	24.7	24.1	23.3	23.3	24.0	24.3	24.8	25.1	24.6	24.3
Mínima	23.2	23.2	23.6	23.8	23.1	21.8	21.6	23.3	23.3	24.2	24.6	23.9	23.9
Desv. Est.	0.8	0.6	0.6	0.7	0.9	0.7	0.9	0.6	0.5	0.3	0.4	0.5	0.3

Fuente: SENAMHI 2015

S/D : Sin Dato, Datos inicialmente catalogados por SENAMHI con S/D, que han sido completados con la media de los registros disponibles

Tabla 10. Temperatura Mínima Media Anual (°C)- Estación San Ramón (2011)

Año	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
1965	18.7	19.2	18.1	18	16.5	16.4	16.7	16.9	18.2	19.1	19.2	19.7
1966	19.5	20.2	18.8	18	17.4	15.7	15.5	17.5	17.9	19.0	19.3	19.6
1967	19.0	19.1	19.3	17	16.7	16.0	16.0	16.3	16.8	18.5	19.4	19.3
1968	19.0	19.3	17.7	17	15.7	16.3	16.7	17.3	18.3	18.8	18.9	19.3
1969	19.4	19.2	19.5	19	18.0	17.8	15.6	S/D	18.2	19.1	19.5	19.2
1970	19.3	18.6	18.7	18	18.0	16.7	16.1	16.7	18.0	19.3	18.6	S/D
1971	19.2	18.6	18.6	17	17.1	17.1	15.9	15.7	17.3	18.4	18.5	18.9
1972	18.8	S/D	18.8	19	18.1	17.1	16.3	17.6	17.8	18.9	20.1	20.0
1973	20.1	19.7	20.1	19	18.2	18.0	17.6	18.1	17.8	18.9	S/D	S/D
1974	S/D	S/D	19.2	18	16.8	17.7	15.5	17.1	17.5	18.6	19.4	19.5
1975	19.1	19.5	18.8	18	19.1	18.0	15.6	16.4	17.6	17.8	19.3	18.9
1976	18.8	18.4	18.6	16	18.3	18.3	16.8	18.8	18.6	19.5	19.9	20.3
1977	20.4	19.5	S/D	17	16.2	15.2	16.2	17.1	17.9	18.6	18.4	18.2
1978	19.6	20.1	19.2	18	17.5	16.0	16.4	15.9	17.6	17.7	18.4	19.2
1979	19.4	19.9	19.3	18	17.6	16.0	16.3	18.2	18.5	19.1	20.0	20.0
2005	S/D	S/D	S/D	19	18.7	16.2	16.1	16.9	18.4	18.6	S/D	S/D
2006	19.5	19.7	19.7	19	17.1	15.5	14.9	17.0	17.7	18.4	19.5	19.2
2007	20.1	19.5	19.1	18	17.3	15.5	16.6	15.3	15.7	17.9	18.3	19.0
2008	18.7	17.9	17.7	17	16.3	17.6	17.1	17.4	16.1	16.4	17.1	19.2
2009	15.2	15.6	15.9	16	16.2	14.5	15.4	16.5	15.7	16.1	19.0	16.4
2010	16.9	16.9	16.9	16	15.6	14.2	14.3	13.9	14.6	16.3	18.1	19.9
2011	18.9	19.3	19.4	18	17.8	16.6	16.1	16.9	17.2	18.3	18.9	19.4
Máxima	20.4	20.2	20.1	19	19.1	18.3	17.6	18.8	18.6	19.5	20.1	20.3
Media	19.0	19.0	18.7	18	17.3	16.5	16.1	16.8	17.4	18.3	19.0	19.2
Mínima	15.2	15.6	15.9	16	15.6	14.2	14.3	13.9	14.6	16.1	17.1	16.4
Desv. Est.	1.1	1.1	1.0	1.	1.0	1.1	0.7	1.1	1.0	1.0	0.7	0.8

Fuente: SENAMHI 2015

S/D : Sin Dato, Datos inicialmente catalogados por SENAMHI con S/D, que han sido completados con la media de los registros disponibles

Tabla 11. Temperatura Máxima Media Anual (°C)- Estación San Ramón (2011)

Año	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
1965	28.5	28.1	29.0	29.0	30.1	28.8	28.6	29.7	29.3	31.1	30.1	29.7
1966	30.3	30.6	29.2	29.8	28.5	30.4	30.3	30.9	31.0	30.5	30.6	29.3
1967	28.9	29.1	28.7	29.5	29.3	28.5	28.6	29.5	31.3	30.3	31.6	31.9
1968	28.9	29.0	28.9	29.3	29.3	29.2	29.0	29.7	31.0	29.9	30.7	30.1
1969	30.4	28.8	30.5	30.3	30.5	28.3	29.4	S/D	31.5	30.5	31.4	29.8
1970	29.4	29.0	29.5	30.0	29.4	29.0	27.7	29.7	30.1	30.4	30.2	S/D
1971	28.6	28.1	29.9	29.5	29.8	28.9	29.3	S/D	S/D	30.0	S/D	26.9
1972	28.6	S/D	29.2	30.5	30.1	29.6	30.0	29.9	30.2	29.8	29.9	29.8
1973	29.0	28.6	29.9	29.6	29.8	29.4	29.1	29.4	30.3	29.7	S/D	S/D
1974	S/D	S/D	28.7	28.4	30.2	28.6	27.9	28.8	29.7	29.6	32.1	30.4
1975	29.5	28.0	29.3	29.9	29.4	29.1	28.1	29.3	29.8	30.5	29.4	28.3
1976	28.3	28.1	29.3	29.8	30.3	30.0	30.7	30.5	29.7	32.8	31.8	31.2
1977	30.9	29.2	S/D	29.6	28.1	28.4	29.1	30.0	30.0	31.1	29.7	29.8
1978	29.7	31.4	29.9	30.2	30.2	30.1	31.0	30.7	30.4	30.6	30.3	29.0
1979	31.0	29.2	29.1	29.9	30.3	29.3	28.5	31.2	30.3	30.5	30.1	29.6
2005	S/D	S/D	S/D	31.8	32.0	30.6	30.5	31.5	31.8	32.1	S/D	S/D
2006	30.2	29.4	30.3	30.1	29.3	28.2	28.3	31.3	30.5	30.0	29.6	29.7
2007	30.8	30.3	30.5	31.7	31.2	32.0	30.3	31.3	32.5	31.8	31.9	31.2
2008	29.7	30.3	29.7	31.3	29.8	30.2	31.8	32.1	32.5	32.7	32.9	29.9
2009	31.2	30.6	31.4	31.8	33.4	31.9	31.4	33.0	33.5	33.2	32.8	31.4
2010	31.2	30.7	31.2	31.3	31.1	32.0	32.6	33.4	32.0	33.5	31.8	30.2
2011	29.2	29.4	29.8	31.0	31.5	30.9	30.7	30.0	31.6	31.7	31.6	29.3
Máxima	31.2	31.4	31.4	31.8	33.4	32.0	32.6	33.4	33.5	33.5	32.9	31.9
Media	29.7	29.4	29.7	30.2	30.2	29.7	29.7	30.6	30.9	31.0	31.0	29.9
Mínima	28.3	28.0	28.7	28.4	28.1	28.2	27.7	28.8	29.3	29.6	29.4	26.9
Desv.	1.0	1.0	0.8	0.9	1.2	1.2	1.3	1.2	1.1	1.2	1.1	1.1

Fuente: SENAMHI 2015

S/D : Sin Dato, Datos inicialmente catalogados por SENAMHI con S/D, que han sido completados con la media de los registros disponibles

Tabla 12. Humedad relativa media mensual (%)-Estación San Ramón (2015)

Año	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Total
2013	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	53.7	53.7
2014	52.2	33.7	51.6	57.4	44.5	51.6	52.0	56.1	69.8	60.1	29.7	26.1	48.7
2015	48.1	47.4	58.9	57.0	52.0	49.0	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	52.
Máxima	52.2	47.4	58.9	57.4	52.0	51.6	52.0	56.1	69.8	60.1	29.7	53.7	53.4
Media	50.2	40.6	55.3	57.2	48.2	50.3	52.0	56.1	69.8	60.1	29.7	39.9	50.8
Mínima	48.1	33.7	51.6	57.0	44.5	49.0	52.0	56.1	69.8	60.1	29.7	26.1	48.1

Tabla13. Evapotranspiración- Estación San Ramón (1979)

	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Total
1973	84.3	85.1	83.0	84.4	78.7	79.9	76.8	79.7	74.0	77.3	S/D	S/D	80.3
1974	S/D	S/D	86.1	85.0	76.3	76.6	77.4	67.7	73.5	77.6	74.6	79.3	77.4
1975	80.9	84.3	84.4	81.4	82.4	81.5	77.1	75.3	75.8	73.6	75.9	80.8	79.5
1976	69.5	69.2	74.7	77.0	71.5	71.3	65.6	69.5	69.6	62.0	64.7	68.8	69.5
1977	71.8	73.5	75.8	73.2	76.9	79.0	79.5	76.1	76.8	73.9	79.8	76.7	76.1
1978	81.9	81.2	84.2	78.5	80.4	78.3	76.5	71.5	77.4	78.6	77.1	82.4	79.0
1979	77.8	87.6	87.0	84.7	83.1	81.7	76.1	73.4	75.5	76.9	78.3	78.5	80.1
Máxima	84.3	87.6	87.0	85.0	83.1	81.7	79.5	79.7	77.4	78.6	79.8	82.4	82.2
Media	77.7	80.2	82.2	80.6	78.5	78.3	75.6	73.3	74.7	74.3	75.1	77.8	77.4
Mínima	69.5	69.2	74.7	73.2	71.5	71.3	65.6	67.7	69.6	62.0	64.7	68.8	69.0
Desv. Est.	5.9	7.2	4.9	4.5	4.0	3.6	4.5	4.1	2.6	5.7	5.4	4.8	4.8

Fuente: SENAMHI 2015

S/D : Sin Dato, Datos inicialmente catalogados por SENAMHI con S/D, que han sido completados con la media de los registros disponibles

3.6 HIDROLOGEOLÓGÍA

Se ejecutó labores de exploración en superficie y subsuelo; mediante perforaciones y ejecución de calicatas; asimismo se caracterizaron las unidades hidrogeológicas, estableciendo la morfología del nivel freático, propiedades hidráulicas de los suelos y rocas, en base a los sondajes ejecutados. En la tabla 14 se sintetizó la información de los sondajes y la profundidad al que se encuentra el nivel freático.

Tabla 14. Resumen de Perforaciones Ejecutadas y nivel freático

Consultora/Año	Ubicación	Nombre	Coordenadas		Nivel Freático	Ensayo	Prof. Total
			Norte	Este			
JMF 2015	Cresta del Depósito	P-01	8'762,236	463,654.00	*36.90	3	39.00
	Pie de la Presa	P-02	8'762,202	463,543.00	*4.00	2	30.00
	Recrecimiento lateral	P-03	8'761,892	463,785.00	*6.40	2	20.00

3.6.1 Ensayos de Permeabilidad Tipo Lefranc

Con el fin de evaluar las propiedades hidráulicas de los materiales que conforman el material de relave y el suelo aluvial, se realizaron ensayos in situ de permeabilidad tipo Lefranc Carga Constante (ASTM D4631). Consiste en introducir agua a una altura determinada dentro de la tubería de perforación sin que rebose y manteniendo así el nivel de agua dentro del sondaje, para luego registrar el consumo de agua a cada minuto. Fueron ejecutados en los tramos de interés como se observa en la Tabla 15, ver en el Anexo 04.

Tabla 15. Resumen de Ensayos de Permeabilidad Tipo Lefranc

Consultora, Año	Ubicación	Perforación	Prof. (m)	Coefficiente de Permeabilidad (cm/s)	Material	Valoración
JMF 2015	Cresta del depósito	P-01	7.50-10.00	5.540 E-04	Relave	Bueno
			19.40-20.00	3.808 E-04	Relave	Bueno
			28.50-30.00	1.370 E-03	Relleno compactado	Bueno
	Pie de la Presa	P-02	4.50-5.00	1.143 E-04	Suelo aluvial	Bueno
			14.50-15.00	4.440 E-01	Suelo aluvial	Bueno
	Recrecimiento lateral	P-03	0.50-5.00	1.078 E-03	Suelo aluvial	Bueno
9.70-1.30			-	Suelo aluvial	Bueno	

3.6.2 Caracterización hidrogeológica

Unidades hidrogeológicas

Las unidades hidrogeológicas del área de estudio se agruparon en base a sus características hidráulicas y caracterización geotécnica de los materiales, las mismas que controlan la recarga y el flujo de las aguas subterráneas así como la interacción de las aguas subterráneas y superficiales.

Depósito Aluvial – Acuífero

Estos suelos están conformados principalmente por fragmentos transportados y acumulados por la acción de corrientes fluviales, se ubica rellenando el valle del río Tulumayo sobre el basamento rocoso; la naturaleza del suelo aluvial es heterogénea tanto en forma como tamaño; están constituidos por gravas mal gradadas “GP” y arenas limosas con gravas “SM”. Tiene ámbito de influencia sobre este material está fundado la presa del Depósito de Relaves la Esperanza.

Los que constituyen depósitos de moderada a alta conductividad hidráulica, por lo que se los califican como “Acuíferos”, debido a la heterogeneidad de granulometría, grado de redondez y compacidad. En general son moderados receptores y transmisores de agua subterránea, permite una media circulación de las aguas subterráneas.

Material de Relave - Acuitardo

Este material de relave compactado está conformado por arena limosa de plasticidad nula “SM”, color gris claro, poco húmedo, de consistencia suelta, se encuentra poco permeable a medianamente permeable.

Los que constituyen depósitos de baja conductividad hidráulica, por lo que se los califican como “Acuitardos”, debido al grado de compacidad. En general son poco receptores y transmisores de agua subterránea, permite una lenta circulación de las aguas subterráneas.

Basamento Rocoso (Granito San Ramón) - Acuícludo

Durante la investigación se determinó la presencia de basamento rocoso los cuales están conformados por afloramientos gris rojizos, la litología predominante es granito; moderadamente resistente a muy resistente, moderadamente fracturada. Es la unidad constituye roca masiva de gran espesor poco fracturada, de acuerdo a su conductividad hidráulica es “muy baja”, por lo que se califica como “acuícludo”.

3.7 GEOTÉCNIA

3.7.1 Ejecución de perforaciones

El programa de investigación de campo a través de perforaciones diamantinas, para lo que se subcontrataron los servicios de la empresa ESONDI S.A., quien ejecutó un total de 3 perforaciones geotécnicas convenientemente ubicadas y distribuidas dentro del área del proyecto. Las perforaciones realizadas tuvieron la finalidad de evaluar las condiciones geotécnicas de la cimentación profunda en la zona de emplazamiento del actual depósito de relaves y del futuro recrecimiento lateral. Las perforaciones se efectuaron con tubería de diámetro HQ y NQ, revestida con tubería de diámetro PQ y HQ respectivamente, estos trabajos fueron realizados en un único turno con una máquina Maquesonda Trido 420.

Para la perforación en material de relave, suelo aluvial o roca muy fracturada se utilizaron muestreadores especiales con brocas widea o de tungsteno (serrucho) que posibilitaron el uso reducido de agua y permitieron recuperación de muestra (material fino).

A continuación se presenta una breve descripción de cada una de las perforaciones:

- La perforación P-01, fue ejecutada en la cresta del depósito de relaves y alcanzó una profundidad de 39.00 m. Durante su ejecución se cortó un tramo total de 27.10 metros compuesto por material de relave de tamaño arena fina con un aumento de componente arcilloso a partir de 10.00 metros de profundidad. Subyaciendo a la capa anterior, se presenta una capa formada por material de préstamo compactado correspondiente a la presa de arranque del depósito de relaves, este tramo cuenta con un espesor de 7.20 metros alcanzando una profundidad de 34.30 metros y se encuentra constituido esencialmente por gravas limosas densas. Subyaciendo a estos materiales, finalmente se cortó el terreno natural compuesto por gravas y

arenas aluviales de compacidad media a densa. En este punto no se llegó a detectar el basamento rocoso, mientras que el nivel de agua se encontró a una profundidad de 36.90 metros. ver Anexo 03.

- La perforación P-02, se realizó sobre terreno natural aluvial al pie del depósito de relaves. Se llegó hasta una profundidad de 29.00 metros cortando un total de 28.80 metros de gravas redondeadas y arenas aluviales de compacidad media y densa. En los últimos 1.20 metros del sondaje se encontró el basamento rocoso de la zona, representando por un granito rosado de grano grueso y elevada fracturación. ver Anexo 03.
- El tercer sondaje P-03, fue ejecutado en la plataforma que albergará el recrecimiento lateral con relave grueso sobre la terraza aluvial del río Tulumayo y alcanzó una profundidad de 20.00 m. A lo largo de toda la columna de perforación se recuperaron gravas redondeadas de pocos centímetros de tamaño englobadas en una matriz arenosa de tamaño medio y grueso de compacidad media. En este punto se detectó la presencia de agua freática a una profundidad de 6.40 metros y no se llegó a alcanzar el basamento rocoso, ver Anexo 03.

Tabla 16. Resumen general de perforaciones

Consultor a Año	Ubicación	Nombre	Coordenadas		Nivel	Ensayo Lefranc	Prof. Total (m)
			Norte	Este	Freático (m)		
JMF 2015	Cresta depósito	P-01	8'762,236	463,654.00	*36.90	3	39.00
	Pie de la Presa	P-02	8'762,202	463,543.00	*4.00	2	30.00
	Recrecimiento lateral	P-03	8'761,892	463,785.00	*6.40	2	20.00

3.7.2 Ejecución de calicatas y trinchera

Se consideró ocho calicatas y una trinchera. Las calicatas fueron realizadas con retroexcavadora, convenientemente ubicadas al pie y en la cresta de la cancha de relave y la plataforma destinada al recrecimiento lateral con relaves gruesos, en cuanto que la trinchera se ejecutó de forma manual aguas arriba del depósito de relaves en la zona destinada como

cantera de material de préstamo. En Tabla 17 se presenta el resumen de la trinchera y calicatas realizadas en el área de estudio, los registros se presentan en el anexo 03.

Tabla 17. Resumen general de calicatas y trinchera

Ubicación	Calicata por JMF	Nivel Agua (m)	Top Soil (m)	Roca (m)	Coordenadas		Prof. Total (m)
					Norte	Este	
Cresta Norte Presa de Relaves.	C-01	N.P.	N.E.	N.E.	8762362	463870	3.50
Cresta Sur Presa de Relaves.	C-02	N.P.	N.E.	N.E.	8762132	463698	3.50
Pie de la Presa de Relaves.	C-03	N.P.	N.E.	N.E.	8762430	463646	3.30
	C-04	N.P.	N.E.	N.E.	8762298	463572	3.30
	C-05	N.P.	0.30	N.E.	8762098	463599	3.00
	C-06	N.P.	0.30	N.E.	8762022	463688	2.70
Zona de Recrecimiento lateral con relave grueso.	C-07	N.P.	0.30	N.E.	8761926	463773	2.80
	C-08	N.P.	0.30	N.E.	8761814	463794	3.20
Cantera de Préstamo.	TR-01	N.P.	N.E.	N.E.	8762065	464011	Superficial

3.7.3 Ensayos de campo

Ensayos de permeabilidad de Lefranc

Con el objetivo de evaluar las propiedades hidráulicas de los materiales que conforman el Depósito de Relaves “La Esperanza”, se realizaron ensayos permeabilidad in situ tipo Lefranc carga constante, siguiendo los lineamientos de la norma ASTM D-4631 descritos en la parte de GEOHIDROLOGÍA.

Mapeo de Estaciones geomecánicas

Se realizó el mapeo geomecánico de tres (03) estaciones geomecánicas de los afloramientos rocosos, situados aguas arriba del depósito de relaves, la metodología empleada para el mapeo fue la de Bieniawski (RMR -1989). En los mapeos se tomaron datos de las fracturas o discontinuidades, incluyendo su rugosidad, apertura, separación, relleno, etc.

Estación geomecánica EG-01

Está ubicada en la parte central del depósito de relaves formando el acceso de aguas arriba, la cual presenta roca de un granito de color gris, grano grueso y modera resistencia.

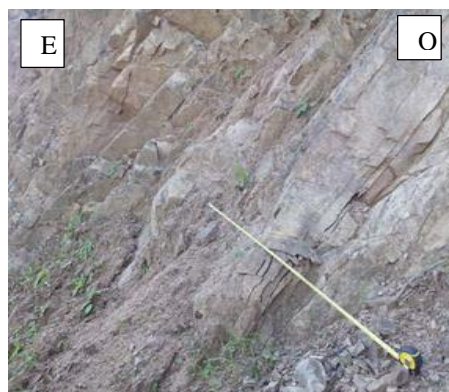


Foto 4. Estación geomecánica EG-01

Tabla 18. Asignación de valores de la estación de geomecánica EG-01

VALORACION DEL MACIZO ROCOSO (RMR)							
PARAMETRO	RANGO DE VALORES Y VALORACIONES					Val	
Resistencia a compresión uniaxial (Mpa)	>250 (15)	250-100 (12)	100-50 (7)	50-25 (4)	<25 (2) <5 (1) <1(0)	12	
RQD (%)	90 -100 (20)	75 – 90 (17)	50-75 (13)	25-50 (8)	<25 (3)	17	
Espaciamiento (M)	>2 m (20)	0.6 – 2 m (15)	0.2–0.6 (10)	0.06-0.2 (8)	<0.06 m (5)	10	
Condición de las Juntas	Persistencia	< 1m (6)	1-3 m (4)	3-10 m (2)	10-20m (1)	>20 m (0)	4
	Apertura	Cerrada (6)	< 0.01 mm (5)	0.1-1.0 mm (4)	1-5 mm (1)	>5mm (0)	4
	Rugosidad	Muy Rugosa (6)	Rugosa (5)	Lig. Rugosa (3)	Lisa (1)	Suave (0)	5
	Relleno	Ninguno (6)	Duro < 5mm (4)	Duro >5mm (2)	Suave <5mm (1)	Suave > 5mm (0)	2
	Alteración	Sana (6)	Lig. Alt (5)	Moder. Alt. (3)	Muy Alterada (1)	Descompuesta (0)	3
AGUA SUBTERRANEA	Seco (15)	Ligeramente Húmedo (10)	Húmedo (7)	Goteando (4)	Agua Fluyendo (0)	15	
VALOR TOTAL RMR						72	

Tabla 19. Clasificación de la calidad de la roca según el RMR-89 de la EG-01

Clase	Calidad	Valoración RMR
I	Muy Buena	100 – 81
II	Buena	80 – 61

Clase	Calidad	Valoración RMR
III	Regular	60 – 41
IV	Mala	40 – 21
V	Muy Mala	< 20

Estación geomecánica EG-02

En la estación EG-02 ubicada en el extremo Norte aflora roca granítica de color rosado, grano grueso y alterado .



Foto 5. Estación Geomecánica EG-02

Tabla 20. Asignación de valores de la estación de geomecánica EG-02

VALORACION DEL MACIZO ROCOSO (RMR)							
PARAMETRO	RANGO DE VALORES Y VALORACIONES					Val	
Resistencia a compresión uniaxial (Mpa)	>250 (15)	250-100 (12)	100-50 (7)	50-25 (4)	<25 (2) <5 (1) <1(0)	7	
RQD (%)	90 -100 (20)	75 – 90 (17)	50-75 (13)	25-50 (8)	<25 (3)	13	
Espaciamiento (M)	>2 m (20)	0.6 – 2 m (15)	0.2–0.6 (10)	0.06-0.2 (8)	<0.06 m (5)	10	
Condición de las Juntas	Persistencia	< 1m (6)	1-3 m (4)	3-10 m (2)	10-20m (1)	>20 m (0)	4
	Apertura	Cerrada (6)	< 0.01 mm (5)	0.1-1.0 mm (4)	1-5 mm (1)	>5mm (0)	4
	Rugosidad	Muy Rugosa (6)	Rugosa (5)	Lig. Rugosa (3)	Lisa (1)	Suave (0)	3
	Relleno	Ninguno (6)	Duro < 5mm (4)	Duro >5mm (2)	Suave <5mm (1)	Suave > 5mm (0)	3
	Alteración	Sana (6)	Lig. Alt (5)	Moder. Alt. (3)	Muy Alterada (1)	Descompuesta (0)	1
AGUA SUBTERRANEA	Seco (15)	Ligeramente Húmedo (10)	Húmedo (7)	Goteando (4)	Agua Fluyendo (0)	15	
VALOR TOTAL RMR						60	

Tabla 21. Clasificación de la calidad de la roca según el RMR-89 de la EG-02

Clase	Calidad	Valoración RMR
I	Muy Buena	100 – 81
II	Buena	80 – 61
III	Regular	60 – 41
IV	Mala	40 – 21
V	Muy Mala	< 20

Estación geomecánica EG-03

Se encuentra ubicada en la parte central del depósito de relaves formando el acceso de aguas arriba, la cual presenta rocas del tipo granito de color gris, grano grueso y de elevada resistencia.

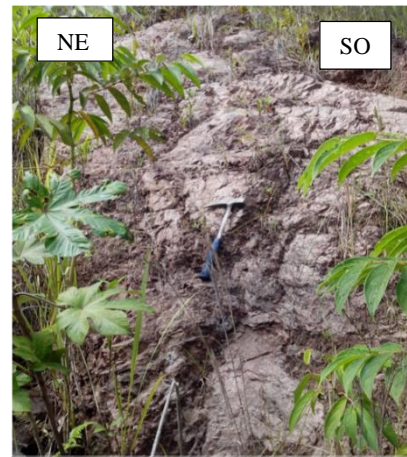


Foto 6. Estación Geomecánica EG-03

Tabla 22. Asignación de valores de la estación de geomecánica EG-03

VALORACION DEL MACIZO ROCOSO (RMR)							
PARAMETRO	RANGO DE VALORES Y VALORACIONES					Val	
Resistencia a compresión uniaxial (Mpa)	>250 (15)	250-100 (12)	100-50 (7)	50-25 (4)	<25 (2) <5 (1) <1(0)	12	
RQD (%)	90 -100 (20)	75 – 90 (17)	50-75 (13)	25-50 (8)	<25 (3)	17	
Espaciamiento (M)	>2 m (20)	0.6 – 2 m (15)	0.2–0.6 (10)	0.06-0.2 (8)	<0.06 m (5)	10	
Condición de las Juntas	Persistencia	< 1m (6)	1-3 m (4)	3-10 m (2)	10-20m (1)	>20 m (0)	4
	Apertura	Cerrada (6)	< 0.1 mm (5)	0.1-1.0 mm (4)	1-5 mm (1)	>5mm (0)	4
	Rugosidad	Muy Rugosa (6)	Rugosa (5)	Lig. Rugosa (3)	Lisa (1)	Suave (0)	5
	Relleno	Ninguno (6)	Duro < 5mm (4)	Duro >5mm (2)	Suave <5mm (1)	Suave > 5mm (0)	2
	Alteración	Sana (6)	Lig. Alt (5)	Moder. Alt. (3)	Muy Alterada (1)	Descompuesta (0)	3

VALORACION DEL MACIZO ROCOSO (RMR)						
PARAMETRO	RANGO DE VALORES Y VALORACIONES					Val
AGUA SUBTERRANEA	Seco (15)	Ligeramente Húmedo (10)	Húmedo (7)	Goteando (4)	Agua Fluyendo (0)	15
VALOR TOTAL RMR						75

Tabla 23. Clasificación de la calidad de la roca según el RMR-89 de la EG-03

Clase	Calidad	Valoración RMR
I	Muy Buena	100 – 81
II	Buena	80 – 61
III	Regular	60 – 41
IV	Mala	40 – 21
V	Muy Mala	< 20

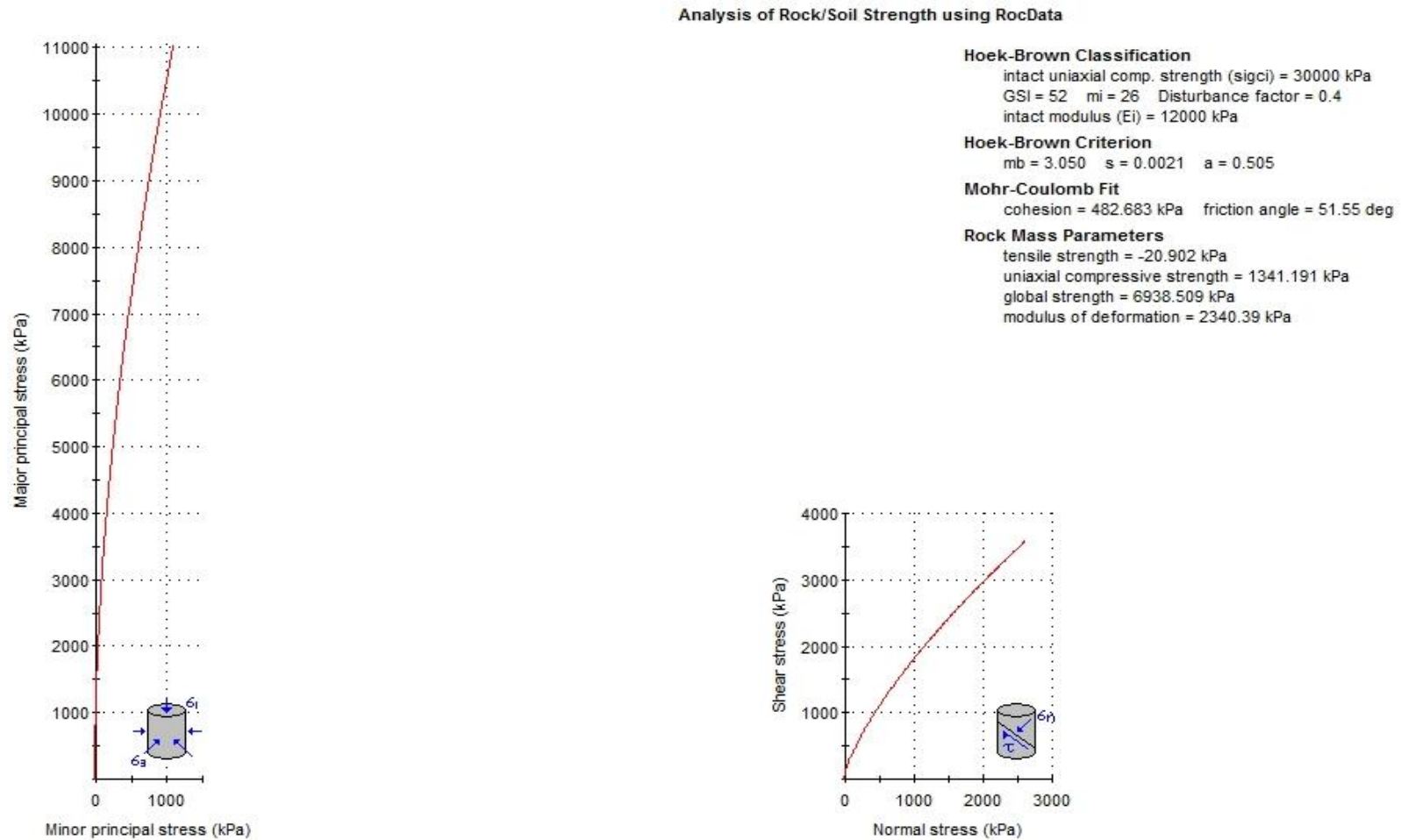
Tabla 24. Resumen de estaciones geomecánicas

Nombre Estación	Coordenadas WGS 84		RMR 1989	Tipo	Valoración
	Norte	Este			
EG-01	8'762,107	464,019	72	II	Buena
EG-02	8'762,345	463,995	60	III	Regular
EG-03	8'762,048	464,044	75	II	Buena

Como se puede observar en la Tabla 24. El resumen de estaciones geomecánicas con un RMR 89 promedio de 69 y una valoración de buena.

Cálculo de la Cohesión (C) y ángulo de fricción interna (Φ) del macizo rocoso con el Rocdata V4.

Figura 9. Cohesión y ángulo de fricción del macizo rocoso (Rocdata V.4).



3.7.4 Ensayos de laboratorio

Durante el desarrollo de la exploración geotécnica de campo, se obtuvieron muestras disturbadas representativas de las calicatas, perforaciones. Los materiales extraídos se llevaron a cabo ensayos de mecánica de suelos para determinar las propiedades físicas y mecánicas de los materiales a emplearse en los análisis geotécnicos. Se efectuaron los siguientes ensayos de caracterización física:

- Contenido de Humedad (ASTM D2216 - 98)
- Análisis Granulométrico (ASTM D422- 63)
- Límites de Atterberg (ASTM D4318- 98)
- Clasificación SUCS (ASTM D2487- 98)

Ensayos especiales tales como:

- Gravedad Específica de los Suelos (Picnómetro) (ASTM D854)
- Ensayos de Compactación (ASTM D-1557)
- Ensayos de Conductividad Hidráulica Pared Flexible (ASTM D5084)
- Ensayos de Conductividad Hidráulica Pared Rígida (ASTM D2434)
- Corte Directo (ASTM D2850)
- Corte Triaxial (CU) (ASTM D4767)

Los ensayos efectuados se presentan en el Anexo 06. Los ensayos estándar o de caracterización física fueron llevados a cabo en el laboratorio de JMF. Los ensayos especiales han sido ejecutados en el laboratorio de AUSENCO, JMF y UNI. A continuación se presenta la descripción de los ensayos realizados y algunos comentarios de los resultados obtenidos

Ensayos de caracterización física.

En las muestras seleccionadas obtenidas en la campaña geotécnica se llevaron a cabo ensayos estándar de laboratorio con fines de identificación y clasificación según el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS). Las propiedades índices de los suelos ensayados en términos de granulometría, límites de consistencia y contenido de

humedad se resumen en la Tabla 25. Asimismo, en el Anexo 05 se muestran los certificados de los ensayos estándar.

Tabla 25. Resumen de ensayos de caracterización física de suelos

Perforación Calicata	Muestra	Prof. (m)	Clasif. SUCS	D. Granulométrica			Límites de Atterberg		Cont. Humed (w%)
				Grava (%)	Arena (%)	Finos (%)	LL	IP	
C-01	MC-18	3.00	SM	0	75.3	24.7	NP	NP	5.4
C-02	MC-15	3.00	SM	0	82.6	17.4	NP	NP	6.1
C-03	MC-11	3.00	GW-GM	68.7	24.3	7.1	NP	NP	5.5
C-04	MC-09	3.00	SC-SM	36.3	43.2	20.5	22.7	5.2	13.9
C-05	MC-07	3.00	GC	41.8	41.0	17.1	23.7	7.0	9.7
C-07	MC-16	1.00-2.50	SP-SM	40.9	50.8	8.3	NP	NP	8.7
C-07	MC-04	2.80	GP	65.6	33.7	0.7	NP	NP	2.6
C-08	MC-02	3.20	GP	66.1	31.9	2.1	NP	NP	3.2
MP-01/MP-	-	Superficial	GW	58.3	38.5	3.2	NP	NP	2.2
P-01	MI-01	3.45-3..95	SM	0	58.5	41.5	NP	NP	5.7
P-01	MI-02	15.45-15.95	ML	0	34.3	65.7	NP	NP	8.7
P-01	MS-01	33.00-33.80	SC	5.3	47.6	47.1	21.8	7.3	8.6
P-01	MS-02	27.75-28.75	SC	14	45.4	40.6	21.5	7.9	5.9
P-01	MS-03	24.30-25.00	ML	0	25	75	NP	NP	13.7
P-01	MS-07	10.00-11.80	ML	0	28.4	71.6	NP	NP	11.3
P-02	MS-05	25.80-28.10	SP	34.6	60.7	4.7	NP	NP	3.7
P-02	MS-06	22.80-25.10	SP	41.9	53.5	4.6	NP	NP	4.6

Dónde: SUCS: Sistema Unificado de Clasificación de Suelos. LL: Límite Líquido IP: Índice de Plasticidad MC: Muestra de Calicatas MS: Muestra de Sondeo MI: Muestra Inalterada.

Ensayos especiales

Ensayos de Gravedad Específica

A manera de conocer las características de peso específico del material del Depósito de Relaves “La Esperanza”, se efectuó el ensayo Gravedad Específica (picnómetro) siguiendo el procedimiento de la norma ASTM-D-854. En la Tabla 26 se presenta el resumen de los resultados; y los registros de los ensayo se aprecia en el Anexo 06.

Tabla 26. Resumen de ensayos de gravedad específica

Ubicación	Muestra	Prof. (m)	SUCS	Gravedad Específica Seca (gr/cm ³)
C-01	MC-18	3.00	SM	2.914
C-08	MC-02	3.20	GP	2.684
P-01	MS-02	27.75-28.75	SC	2.637
P-01	MS-03	24.30-25.00	ML	2.871

Ensayos de Compactación

La variación de la densidad seca con respecto al contenido de humedad, fue determinada para el material de la presa de relaves “La Esperanza”, siguiendo los procedimientos de la norma ASTM D-698 (próctor modificado). Los resultados de los ensayos se presentan en la Tabla 27 y los certificados de los ensayos de próctor estándar.

Tabla 27. Resumen de ensayos de compactación

Ubicación	Calicata Trinchera Muestra	Prof. (m)	SUCS	MDS (gr/cm ³)	OCH (%)
Cantera	MP-01/MP-02/MP-03	Superficial	GW	2.047	7.85

Dónde: SUCS: Sistema Unificado de Clasificación de Suelos MDS: Máxima densidad seca
OCH: Óptimo contenido de humedad

Ensayos de Corte Directo

Con el objetivo de determinar las propiedades mecánicas de resistencia para el material de relave del depósito de relaves “La Esperanza”, siguiendo los procedimientos de la norma ASTM D-3080 (Corte Directo), se ejecutaron cuatro ensayos de corte directo para muestras remoldeadas a la densidad in situ. Los resultados de estos ensayos se presentan en la Tabla 28 y el certificado de ensayo de corte directo se encuentra en el Anexo 06.

Tabla 28. Resumen de ensayos de corte directo

Ubicación	Calicata Trinchera	Prof. (m)	SUCS	Parámetros de Resistencia	
				Cohesión (kPa)	Fricción (ϕ)
Zona de Relaves Gruesos	C-07/MC-16	1.00-2.50	GC	0	35.8
Depósito de relaves	P-01/MI-01	3.45-3.95	SM	0	25.8
Depósito de relaves	P-01/MS-01	33.00-33.80	SC	4.5	30.9
Pie del Depósito de relaves	P-02/MS-06	22.80-25.10	SP	0	34.5

Ensayo de Corte Triaxial

A fin de determinar las propiedades mecánicas de resistencia al corte del relave y suelos proveniente de la fundación, se han realizado dos (02) ensayos triaxiales No Consolidado - No drenado (UU) y un (01) ensayo Consolidado – Drenado (CU). Los ensayos fueron desarrollados siguiendo los procedimientos descritos en la norma ASTM D2850 y D4767, respectivamente. En la Tabla 29 se presentan los resultados de los ensayos. Los certificados de los ensayos de corte triaxial se encuentran en el Anexo 06.

Tabla 29. Resumen de ensayos triaxial UU y CU

Ubicación	Calicata Trinchera	Muestra	Prof.(m)	Clasif. SUCS	Tipo Ensayo	Esfuerzos Totales	
						Cohesión	Fricción
Relaves Gruesos	C-07	MC-16	1.00-2.50	GC	UU	17.5	36.8
Perforación	P-01	MI-02	15.45- 15.95	ML	UU	28.12	26.7
Cantera	TR-01	MP-01, 02	Superficial	GW	CU	56.0	39.7

De los resultados obtenidos se observa que el suelo aluvial presenta valores de cohesión de 17.5 kPa y fricción de 36.8°. Asimismo, para la muestra de relave obtenida se obtuvo una cohesión de 28.1 kPa y un ángulo de fricción de 26.7°. El material de préstamo presenta una fricción de 39.7°

Ensayo de Conductividad Hidráulica

Se efectuaron cuatro (04) ensayos de conductividad hidráulica en las diferentes muestras recogidas de la zona del proyecto. Los ensayos fueron desarrollados siguiendo los procedimientos descritos en la norma ASTM D-5084 (Permeabilidad Pared Flexible).

En la Tabla 30 se resumen los resultados obtenidos, asimismo en el Anexo 06 se encuentran el certificado de los ensayos de permeabilidad ejecutados.

Tabla 30. Resumen de ensayos de conductividad hidráulica

Ubicación	Calicata	Prof. (m)	SUCS	“K” (cm/seg)	Rango de Cond.
Cresta de Relavera	MC-15/C-02	3.00	SM	4.8E-04	Baja
Pie de Relavera	MC-11/C-03	3.00	GW-GM	4.0E-02	Alta
Zona de Relaves Gruesos	MC-16/C-07	1.00 – 2.50	SP-SM	2.1E-01	Alta
Canteras	MP-01,MP-02MP-03	Superficial	GW	3.1E-01	Alta

Dónde: K: Permeabilidad Conductividad Hidráulica

CAPÍTULO IV

ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

4.1 RESULTADOS

Geología

Se determinó que la presa del depósito de relaves se cimentará sobre un depósito aluvial compuesto por gravas mal gradadas y arenas limosas. El basamento rocoso está constituido por rocas intrusivas graníticas denominado Granito de San Ramón, se evidenció en la perforación P-02 a una profundidad de 28.80 metros y se encontraron afloramientos de estas rocas intrusivas en la parte norte del eje de la presa. En las laderas aguas arriba del depósito de relaves se encontró un depósito coluvioaluvial compuesto por bloques caídos de subangulosos a angulosos, gravas, arenas y arcilla de color rojizos.

Hidrología

La precipitación promedio anual es de 1918.5 mm, con precipitación máxima anual de 2675.7 mm y precipitación mínima anual de 751.9 mm. La temperatura media anual promedio es 24.3°, la temperatura máxima anual es de 29.9° y la temperatura mínima anual es de 19.2°. La humedad relativa media mensual presenta un valor promedio de 50.8%.

Hidrogeología

Existen zonas de recarga en donde la infiltración se está en todo el entorno de la presa lo cual está definiendo tres unidades hidrogeológicas que definen el movimiento de las aguas de infiltración y delimitan la morfología del acuífero, presentes en la zona de estudio; las mismas que están conformadas por: Depósito Aluvial, Material de Relave y Basamento Rocosos (Granito San Ramón). Y las perforaciones nos muestra que el nivel freático se encuentra a 5 m del suelo natural en el depósito aluvial.

Sísmica

La ubicación de la cimentación de la presa está en la zona 2 con aceleración máxima horizontal de 0.25, con lo cual se obtiene el coeficiente máximo horizontal de 0.125 y coeficiente de aceleración máxima vertical de 0.063. Por encontrarse el proyecto muy cerca de la zona 3 debe considerarse la influencia de la sismicidad con 0.35. Sin embargo por seguridad estamos considerando una aceleración máxima de horizontal 0.30, con un coeficiente máximo horizontal de 0.175 y coeficiente de aceleración máxima vertical de 0.088 valores con los cuales se ha calculado los factores de seguridad,

Geotécnia

Depósito Aluvial (Qh-a)

Estos suelos están conformados principalmente por fragmentos transportados y acumulados por la acción de corrientes fluviales, se ubica rellenando el valle del río Tulumayo sobre el basamento rocoso; la naturaleza del suelo aluvial es heterogénea tanto en forma como tamaño; están constituidos por gravas mal gradadas “GP” y arenas limosas con gravas “SM”. En base a la información obtenida de las calicatas y granulometría, estos materiales corresponden visualmente a gravas mal gradadas, arenas arcillosas y limosas; con una clasificación SUCS aproximada de GP y SC-SM. Los parámetros de resistencia han sido estimados de manera conservadora, en base a correlaciones existentes en la literatura técnica para materiales granulares y ensayos de laboratorio..

Granito San Ramón (Ts-gr)

Durante la investigación se determinó la presencia de basamento rocoso los cuales están conformados por bancos macizos gris rojizos, la litología predominante es granito; moderadamente resistente a muy resistente, tiene gran ámbito de influencia en la zona este de la presa de Relaves La Esperanza. En base a la información obtenida de las perforaciones diamantinas, mapeo geotécnico y, finalmente la calidad de roca granítica presenta un promedio de 69 ubicándola como Roca Tipo II de calidad “Buena”. data promedio de resultados, una cohesión de 482.6 kPa y un ángulo de fricción de 51.5°.

Gavión

Geomalla tejida producida a partir de hilos de poliéster de alta tenacidad con revestimiento en PVC para la protección del núcleo resistente a los daños de instalación, ataques químicos, biológicos y ambientales. El material para relleno del gavión será roca del Granito de San Ramón; dura, angular, durable y con una gradación adecuada. El tamaño nominal mínimo y máximo de las partículas para el relleno de los gaviones es de 150 mm a 250 mm.

Relaves Finos

Este material de relave fino está conformado por limo arenoso de baja plasticidad "ML", de color gris claro, húmeda a saturada, de consistencia blanda a muy blanda. Los parámetros de resistencia han sido estimados en función a los valores obtenidos por SVS el año 2006. En base a ello se ha asumido de manera conservadora una cohesión de 4.91 kPa y un ángulo de fricción de 10°.

Relaves Gruesos

Este material de relave compactado está conformado por arena limosa de plasticidad nula "SM", color gris claro, poco húmeda, Los parámetros de resistencia han sido estimados en función a las correlaciones de los ensayos ejecutados durante la campaña de investigación geotécnica de campo realizada y de resultados de laboratorio. En base a ello se ha asumido de manera conservadora una cohesión de 28.12 kPa y un ángulo de fricción de 26.7°, así como un peso específico de 18.05 kN/m³, este último obtenido del informe realizado por SVS, 2006.

Presa

Acumulaciones de fragmentos polimícticos, angulosos a sub-angulosos, bien gradados, presentan niveles arcillosos y arenosos, de baja plasticidad y compacidad densa, se encuentra dispuesto a lo largo del pie del Depósito de Relaves La Esperanza. Los parámetros de resistencia han sido estimados en función a los resultados de la campaña de investigación geotécnica de campo, ensayos de laboratorio, estudios anteriores.

Tabla 31. Resumen de los parametros de resistencia de los materiales

Unidad	Material	γ Saturado (kN/m ³)	γ Seco (kN/m ³)	Parámetros de Resistencia	
				c(kPa)	Φ (°)
Geológica	Depósito Aluvial	23.54 ⁽¹⁾	22.56 ⁽¹⁾	17.5 ⁽²⁾	36.8 ⁽²⁾
	Basamento Rocoso (Granito San Ramón)	26 ⁽¹⁾	24 ⁽¹⁾	482.6 ⁽²⁾	51.5 ⁽²⁾
Antrópicos	Relaves Finos	19.62 ⁽¹⁾	21.06 ⁽¹⁾	4.91 ⁽¹⁾	10 ⁽¹⁾
	Relaves Gruesos	21.09 ⁽¹⁾	18.05 ⁽¹⁾	28.12 ⁽²⁾	26.7 ⁽²⁾
	Presas	24.13 ⁽¹⁾	23.54 ⁽¹⁾	56 ⁽²⁾	39.7 ⁽²⁾
	Gavion	26 ⁽¹⁾	24 ⁽¹⁾	0 ⁽¹⁾	51.5 ⁽²⁾

Fuente; (1): SVS 2006 y (2): Informe

4.2 CÁLCULO DEL FACTOR DE SEGURIDAD

El análisis de estabilidad fue realizado utilizando el programa SLIDE, versión 6.0, el cual permite al usuario realizar cálculos por equilibrio límite por una variedad de métodos. Para calcular el factor de seguridad usamos el concepto de equilibrio límite, el presente análisis utiliza el método de Spencer, Bishop Simplificado y Gle/Morgenstern-Price.

Secciones Analizadas

El análisis de estabilidad realizado abarca tres secciones transversales típicas, denominadas Sección A-A', Sección B-B' y Sección C-C'. La ubicación en planta ver el Plano 05. Dichas secciones consideran la configuración final del recrecimiento y disposición de los relaves hasta la elevación de 955.6 msnm. Estas secciones fueron elegidas tras varios análisis preliminares presentando las siguientes características y valores para el análisis:

Sección A-A'

Se observa en el Plano 06, ubicándose en el sector norte del Depósito de Relaves, esta sección el muro de suelo reforzado denominado MSR Tramo N°1 con fachada de gaviones, alcanza una altura máxima de 8 m aproximadamente. Sobre el MSR se eleva la presa el cual presenta un talud de 1.5H:1V. Según Gle/Morgenstern-Price en condiciones normales

presenta un FS de 1.937 por lo cual es estable ver Figura 10, en condiciones pseudo-estáticas presenta un FS de 1.403 por lo cual podemos decir que es estable ver Figura 11 y en condición saturada y pseudo-estática presenta un FS de 1.080 lo cual es inestable y colapsaría los relaves gruesos desde la corana del depósito hasta el recrecimiento de la presa también presenta un FS de 1.166 lo cual existe la probabilidad que sea inestable desde la corona del depósito hasta el pie de la presa y presenta un FS 1.543 del talud de relaves gruesos hasta el muro de gavion lo cual nos indica que es estable ver Figura 12.

Sección B-B'

De acuerdo al Plano 06, se ubica en la parte central del Depósito de Relaves al nor-oeste. En esta sección el muro de suelo reforzado denominado MSR Tramo N°2 con fachada de gaviones, alcanza una altura máxima del muro de 9 m aproximadamente. Según Gle/Morgenstern-Price en condiciones normales presenta un FS de 1.825 entonces es estable ver Figura 13, en condiciones pseudo-estática presenta un FS de 1.321 por ende es estable ver Figura 14 y en condición saturada y pseudo-estática presenta un FS de 1.032 por lo cual es inestable colapsaría los relaves gruesos y la presa desde la corana del depósito hasta el pie de la presa, presenta un FS de 1.074 desde la corona del depósito hasta el muro gavion confirmando que sería inestable y presenta un FS 1.723 del talud de relaves gruesos hasta el muro de gavion lo cual nos indica que es estable ver Figura 15.

Sección C-C'

En el Plano 06 se ubica en el sector sur del Depósito de Relaves, específicamente en el futuro Depósito de Relaves Gruesos. En esta sección se muestra la proyección del Depósito de Relaves Gruesos. La presa tiene una altura aproximada de 5 m y tienen taludes de 1.5H:1V. Según Gle/Morgenstern-Price en condiciones normales presenta un FS de 2.450 entonces es estable ver Figura 16, en condiciones pseudo-estática presenta un FS de 1.620 por lo cual es estable ver Figura 17 y en condición saturada y pseudo-estática presenta un FS de 1.065 que demuestra la inestabilidad colapsaría los relaves gruesos y la presa desde la corana del depósito hasta el pie de la presa, presenta un FS de 1.289 en el relave grueso de la presa que sería estable y también un FS 1.383 del talud de relaves gruesos hasta el pie de la presa lo cual nos indica que es estable en esta zona ver Figura 18.

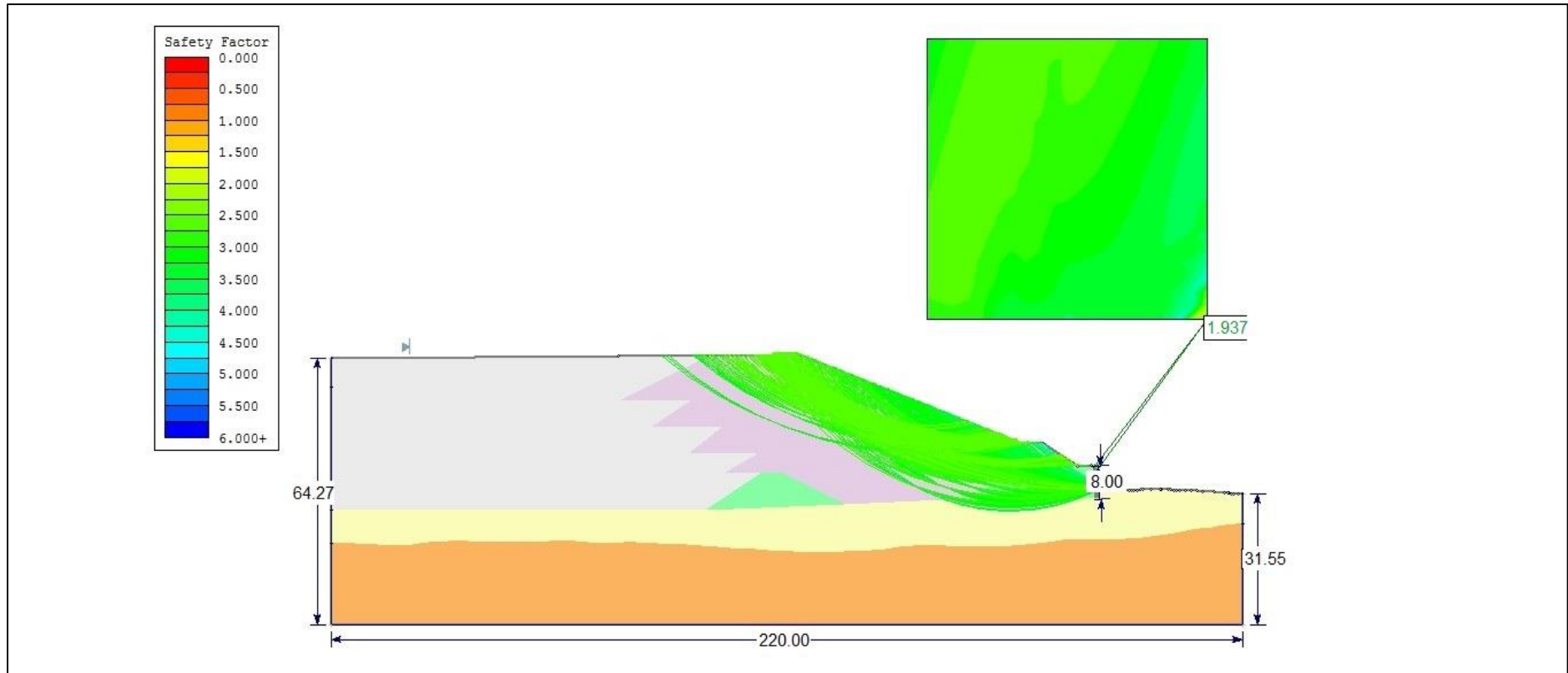


Figura 10. Sección A-A' a condiciones normales.

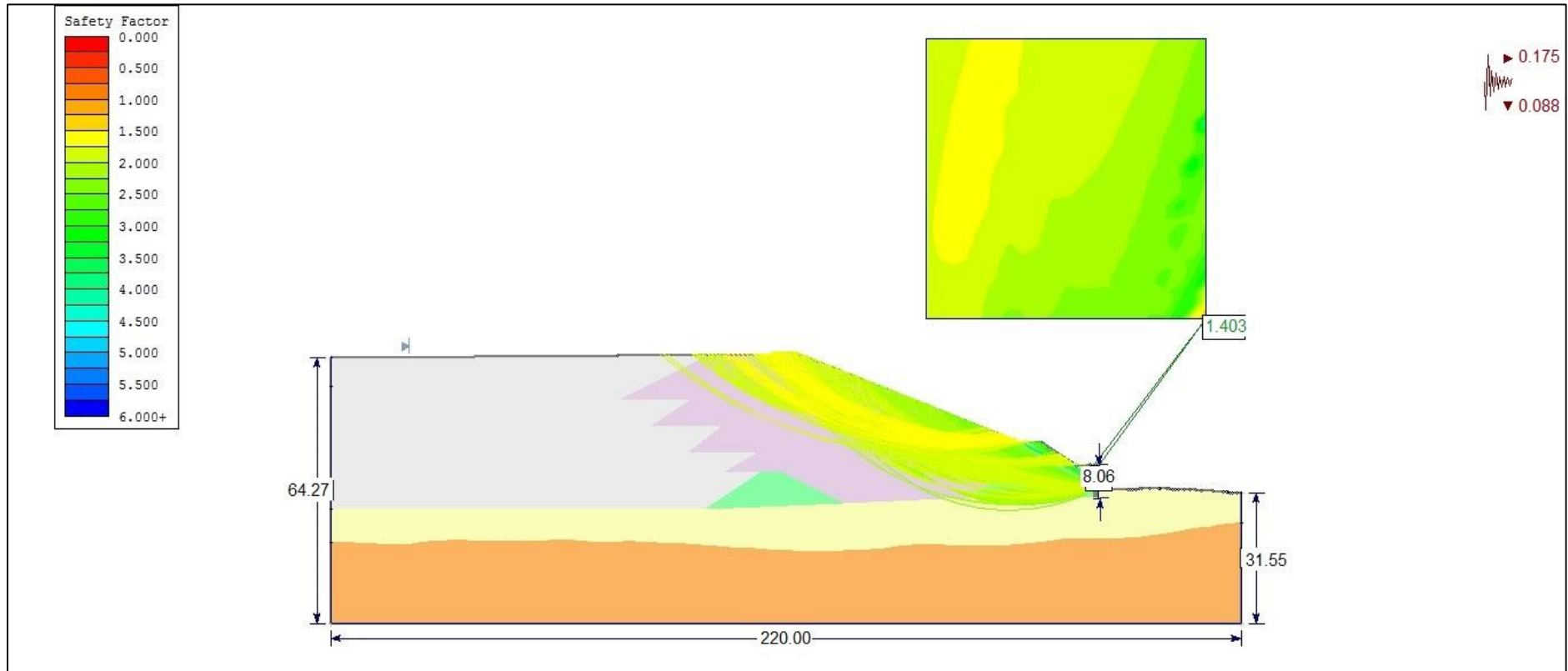


Figura 11. Sección A-A' a condición pseudo-estática.

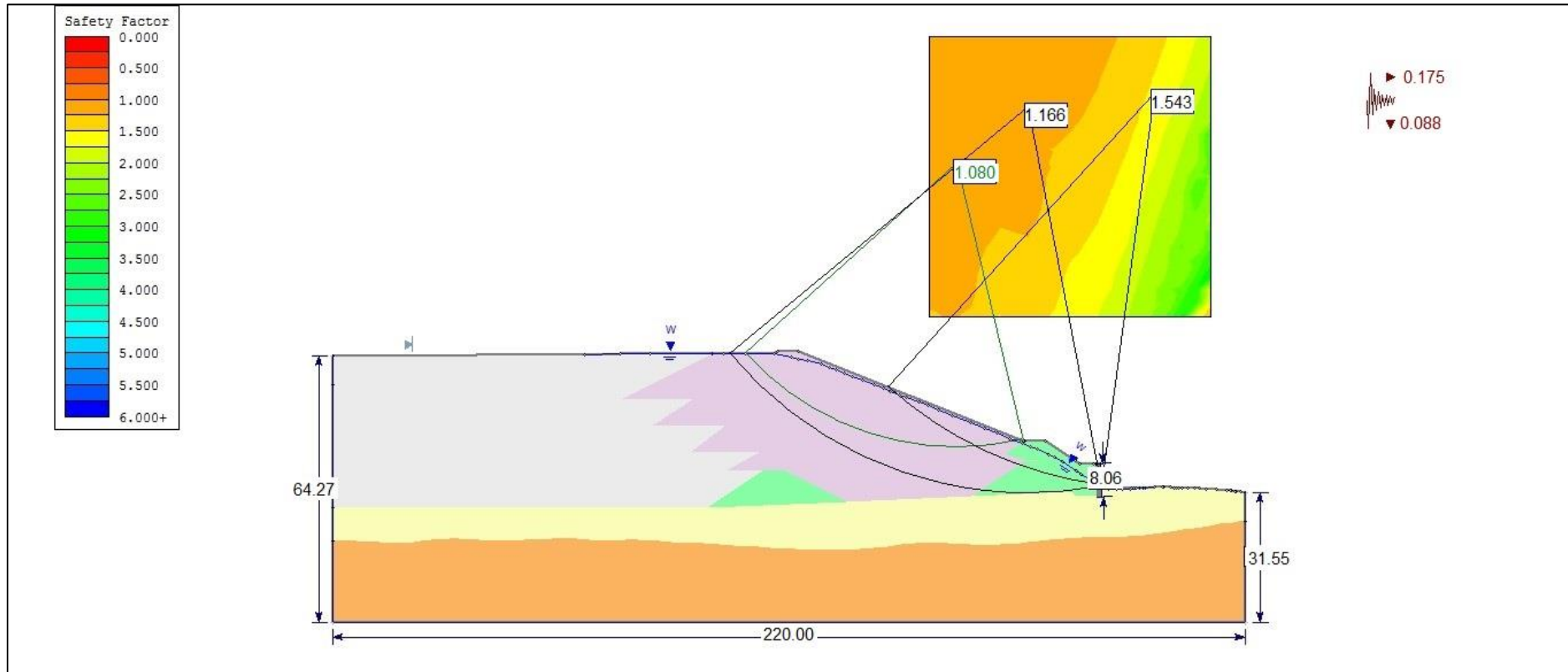


Figura 12. Sección A-A' a condición saturada y pseudo-estática.

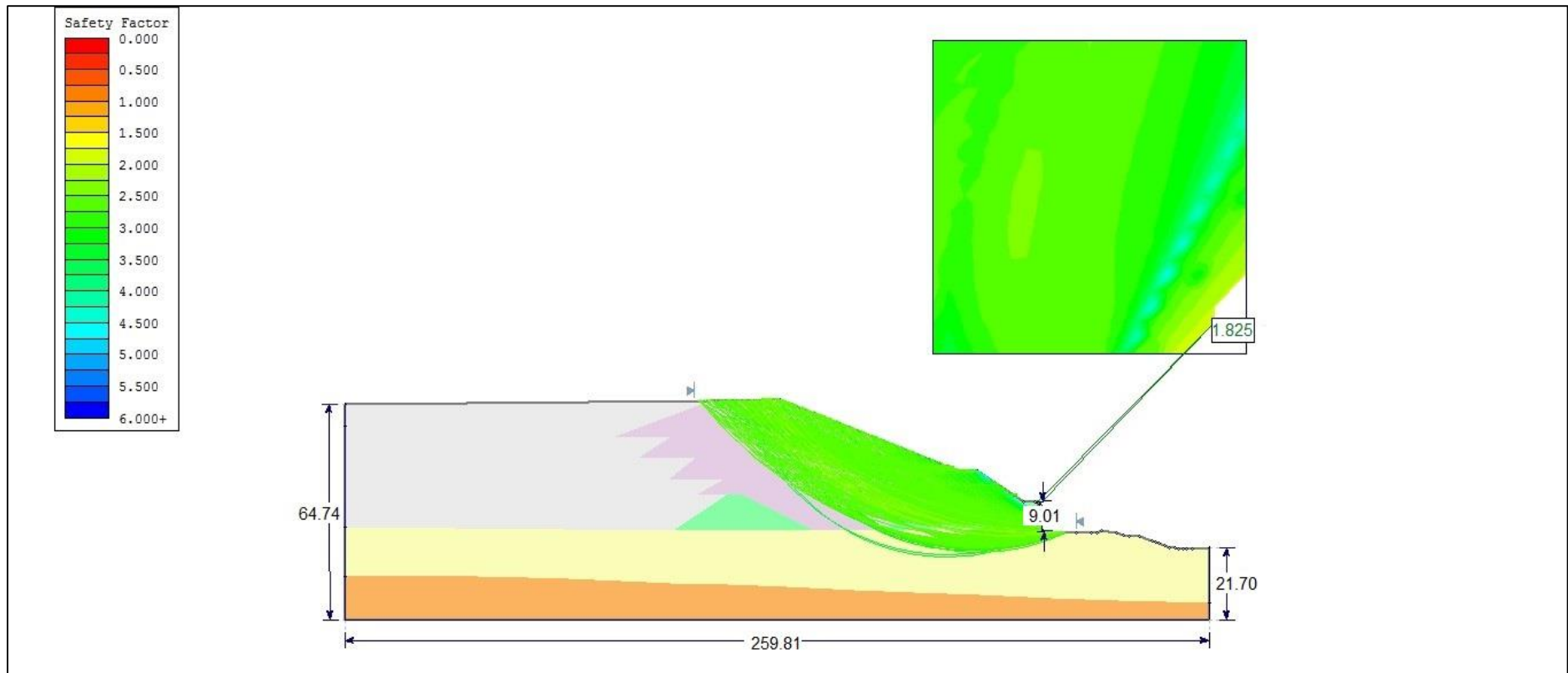


Figura 13. Sección B-B' a condiciones normales.

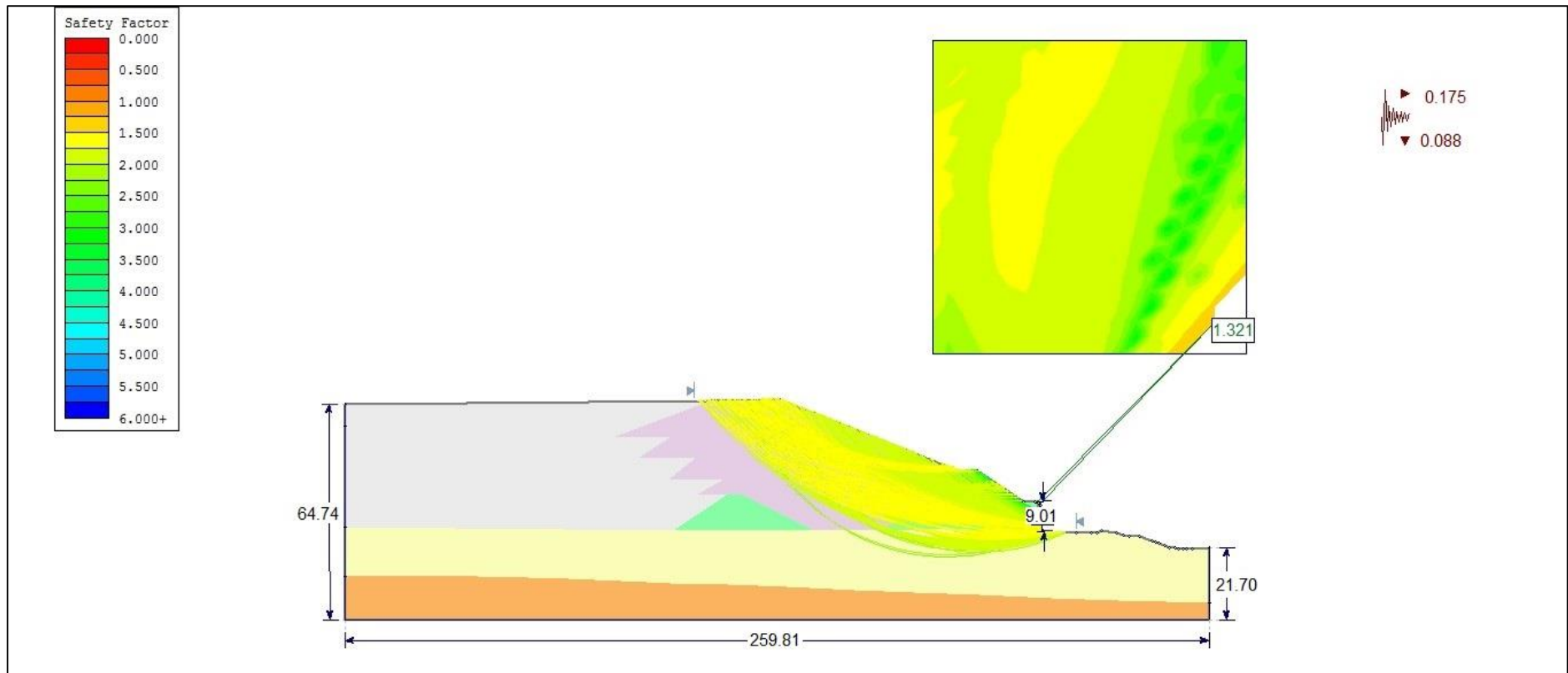


Figura 14. Sección B-B' a condiciones pseudo-estática.

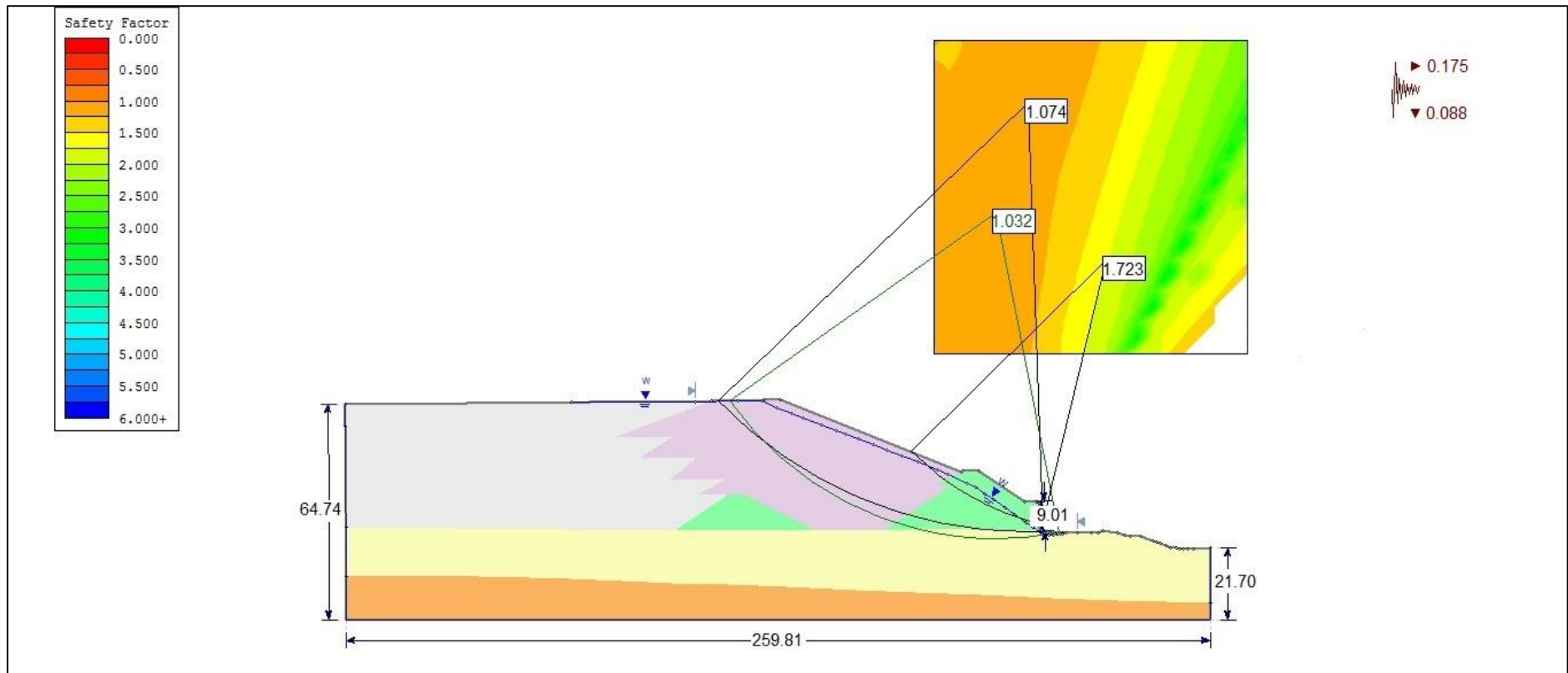


Figura 15. Sección B-B' a condición saturada y pseudo-estática

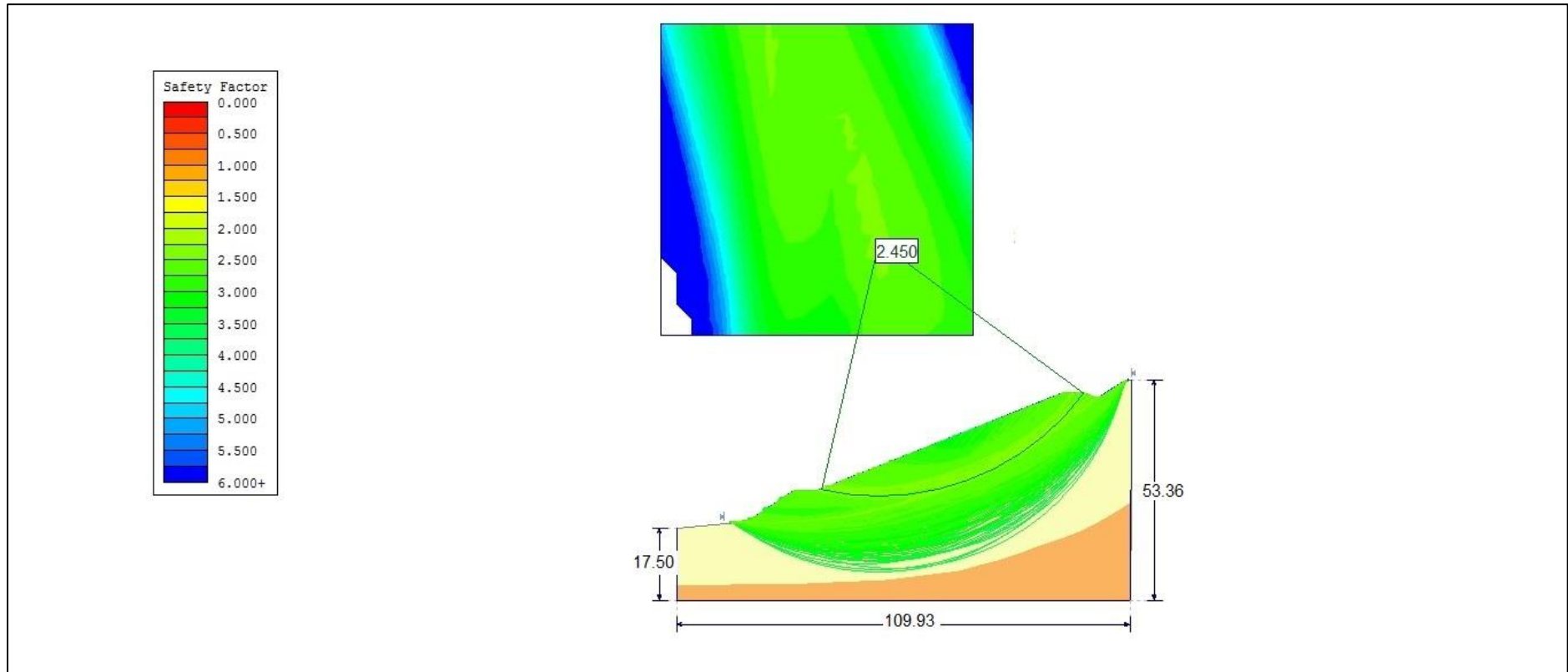


Figura 16. Sección C-C' a condiciones normales.

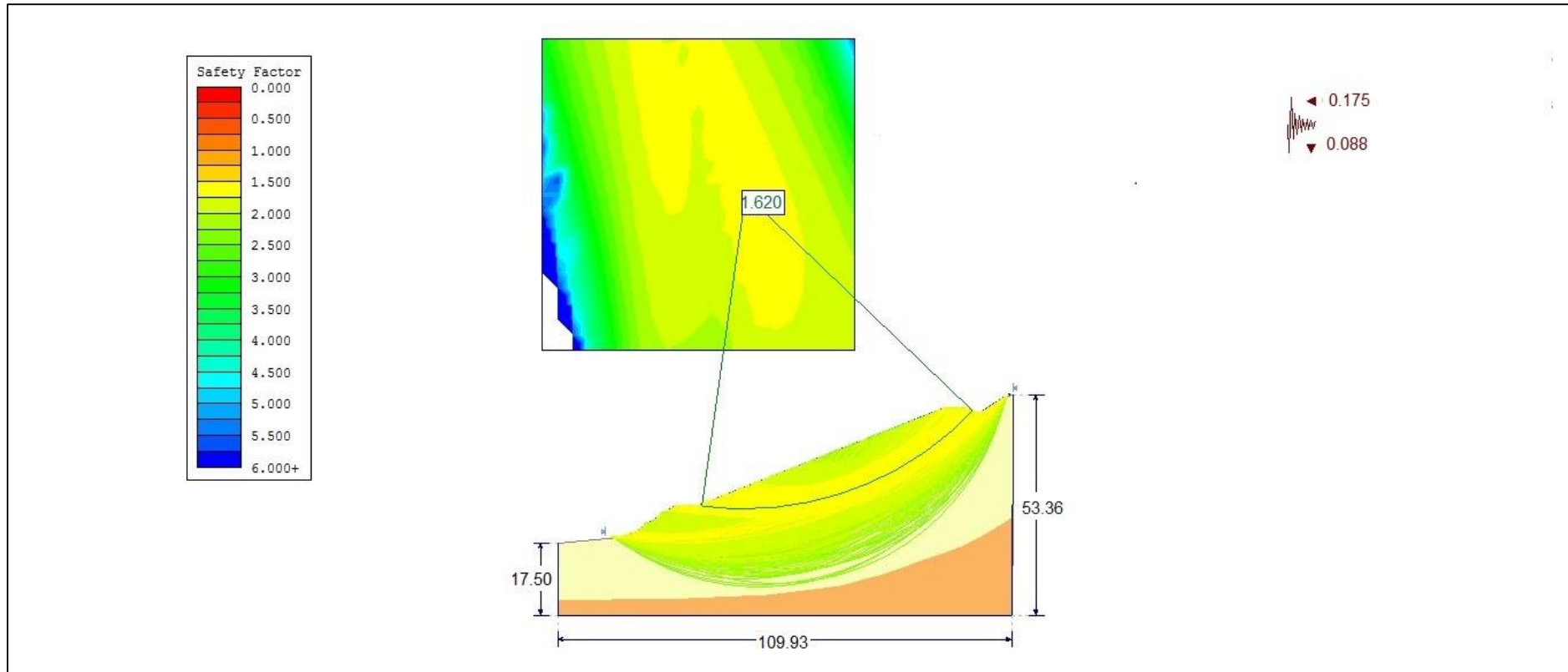


Figura 17. Sección C-C' a condición pseudo-estática.

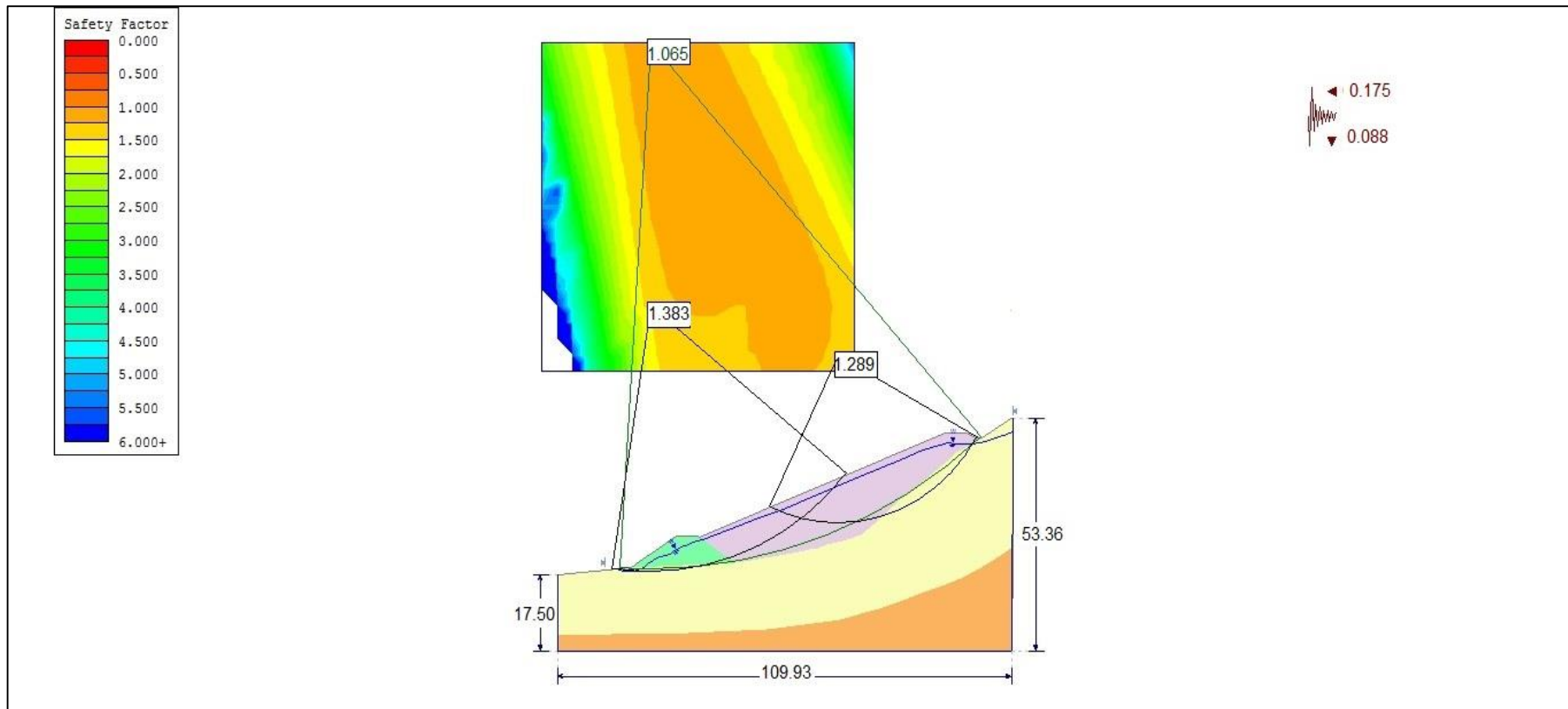


Figura 18. Sección C-C' a condición saturada y pseudo-estática.

4.3 DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Los factores de seguridad obtenidos en la Tabla 32 para condición normal nos muestra que es estable la presa de relaves así como para la condición pseudo-estática, mientras que en condición saturada y pseudo-estática es crítico debido que los factores de seguridad son muy cercanos al equilibrio límite, por lo cual podemos decir que el recrecimiento de la presa del depósito de relaves la Esperanza será inestable.

Tabla 32. Resultados del análisis de la estabilidad de los taludes.

PERFIL	CONDICIÓN	BISHOP	GLE/M-P	SPENCE
A-A'	NORMAL	1.938	1.937	1.937
	PSEUDO-ESTÁTICA	1.405	1.403	1.403
	SATURADA y PSEUDO-ESTÁTICA	1.062	1.080	1.078
B-B'	NORMAL	1.828	1.825	1.825
	PSEUDO-ESTÁTICA	1.323	1.321	1.321
	SATURADA y PSEUDO-ESTÁTICA	1.057	1.102	1.105
C-C'	NORMAL	2.450	2.450	2.452
	PSEUDO-ESTÁTICA	1.605	1.620	1.622
	SATURADA y PSEUDO-ESTÁTICA	1.050	1.065	1.071

4.4 CONTRASTACIÓN DE HIPOTESIS

Se está demostrando que el recrecimiento de la presa de relaves La Esperanza, en condición saturada (hidrológico) y pseudo-estática (sísmica) fallará, nos apoyamos en los ensayos de campo, laboratorio y el software slide V6 y por lo tanto se confirma la hipótesis.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 CONCLUSIONES

El cartografiado geológico determinó que la presa del depósito de relaves se cimentará sobre un depósito aluvial compuesto por gravas mal gradadas y arenas limosas. El basamento rocoso está constituido por el Granito de San Ramón y se encontraron afloramientos en la parte norte-este del eje de la presa. En las laderas aguas arriba del depósito de relaves se encontró un depósito coluvioaluvial.

El Factor de Seguridad en condiciones normales para las secciones transversales A, B y C son 1.937, 1.825 y 2.450, pseudo-estática son 1.403, 1.321 y 1.620 por lo cual no fallará pero en condición saturada y pseudo-estática presenta 1.080, 1.102 y 1.065 por estar muy cerca al equilibrio límite por lo tanto fallará la presa.

Análisis de la información hidrológica muestra que la precipitación de la zona promedio anual es de 1918.5 mm, con precipitación máxima anual de 2675.7 mm y precipitación mínimo anual de 751.9 mm, por lo cual incrementa la propresión y afecta a la estabilidad de taludes de la presa.

Se definió los parámetros sísmicos de la zona que son; aceleración máxima de horizontal 0.30, con un coeficiente máximo horizontal de 0.175 y coeficiente de aceleración máxima vertical de 0.088 valores con los cuales se ha calculado los factores de seguridad.

Se ejecutaron ensayos de campo y laboratorio, dentro de los ensayos de laboratorio se realizaron ensayos de caracterización física como; contenido de humedad, análisis granulométrico, límites de atterberg y clasificación SUCS. También se realizaron ensayos especiales los cuales fueron más importantes; corte directo y corte triaxial para determinar las propiedades de resistencia de los materiales.

5.1 RECOMENDACIONES

La compañía minera San Ignacio de Morococha S.A debe mejorar el diseño del recrecimiento de la presa de relaves La Esperanza quitando el muro de suelo reforzado y disminuyendo la pendiente de los taludes.

La compañía minera San Ignacio de Morococha S.A se deberá prestar atención en las zonas en las que se ha ejecutado trabajos de corte para el conformado del acceso superior, ya que se han observado laderas con elevada pendiente con presencia de rocas sueltas, se recomienda proceder con un desatado y limpieza del material inestable.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Das, BM. 1984. Fundamentos De La Ingeniería Geotécnica. Mexico: Thomson.
- Das, BM. 2011. Fundamentos De La Ingeniería Geotécnica. Mexico: Thomson.
- Das, BM. 2012. Fundamentos De La Ingeniería De Cimentaciones. Mexico: Cengage learning.
- Crespo, V. 1980. Mecánica De Suelos Y Cimentaciones. Monterrey-Mexico.
- David –O. Febres; Fontobé, L; Oldham, L. 200. Exploración y Geología del Yacimiento San Vicente. Junín-Perú.
- Davila .2011. Diccionario Geológico. Lima: Arth Altuna.
- Estación San Ramón .2016. Data De Precipitaciones 1970-2011. Junín-Perú.
- Golder Associates Ltd. & Geotécnica Consultores. 199. Diseño De La Cancha De Relaves La Esperanzay Tubería De Conducción. Junin-Perú.
- Gonzáles. 2002. Ingeniería Geológica. Madrid-España.
- Hoek; Carranza-Tores; Corkum. 2002. Criterio De Rotura De Hoek-Brown. Minesota.
- Hoyos .2011. Manual De Laboratorio De Mecánica Suelos. Cajamarca-Peru.
- JMF Ingeniería & Construcción. 2015. Recrecimiento Del Depósito De Relaves La Esperanza. Junín-Perú.
- MEM (Ministerio de Energía y Minas, Perú) 1997. Guía Ambiental Para La Estabilidad De Taludes De Depósitos De Residuos Sólidos Provenientes De Actividades Mineras. Lima-Peru.

MTC (Ministerio De Transportes Y Comunicaciones, Perú) 2013. Manual De Ensayos De Materiales. Lima-Perú.

SVS Ingenieros S.A. 2006. Diseño Del Recrecimiento Final Del Depósito De Relaves La Esperanza. Junín-Perú.

SVS Ingenieros S.A. 2013. Evaluación De La Factibilidad Técnica Para Un Recrecimiento Adicional Del Depósito De Relaves La Esperanza. Junín-Perú.

Valera, R. 2013. Casificación De Suelos, clase magistral. Cajamarca-Perú.

ANEXOS

ANEXO 01: Planos.

ANEXO 02: Registro geomecánico de las estaciones.

ANEXO 03: Registro de perforaciones, calicatas y trincheras.

ANEXO 04: Registro de ensayos de permeabilidad.

ANEXO 05: Ensayos de laboratorio de suelos de caracterización física.

ANEXO 06: Ensayos de laboratorio de suelos especiales.

ANEXO 07: Mapa de zonificación sísmica del Perú