

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO

FACULTAD DE INGENIERIA GEOLÓGICA, MINAS Y METALÚRGICA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA GEOLÓGICA



TESIS

**EVALUACION GEOLOGICA-GEOTECNICA DE
FACTIBILIDAD PARA LA AMPLIACION DE LA PRESA
HUAYLLUMAYO MEDIANTE LA CONSTRUCCION DE UN
NUEVO EJE DE PRESA, DISTRITO Y PROVINCIA DE
ESPINAR, DEPARTAMENTO DE CUSCO-2024**

PRESENTADO POR:

Br. ANGEL RODRIGO MOLLEHUANCA PABLO

Br. JESUS QUISPE CARDENAS

**PARA OPTAR AL TÍTULO PROFESIONAL
DE INGENIERO GEÓLOGO**

ASESOR:

Dr. JOSEFINA ESCALANTE GUTIERREZ

CUSCO - PERÚ

2025



Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco

INFORME DE SIMILITUD

(Aprobado por Resolución Nro.CU-321-2025-UNSAAC)

El que suscribe, el Asesor Josefina Escalante Gutiérrez
 quien aplica el software de detección de similitud al
 trabajo de investigación/tesis titulada: "Evaluación Geológica - Geotécnica de factibilidad
 para la ampliación de la Presa Huayllumayo mediante la construcción de un
 nuevo eje de presa, distrito y provincia de Espinar, departamento de Cusco - 2024."

Presentado por: Angel Rodrigo Mollehuana Piblo DNI N° 73193766;
 presentado por: Jesus Quispe Cardenas DNI N°: 72028276
 Para optar el título Profesional/Grado Académico de Ingeniero Geólogo

Informo que el trabajo de investigación ha sido sometido a revisión por 02 veces, mediante el Software de Similitud, conforme al Art. 6° del **Reglamento para Uso del Sistema Detección de Similitud en la UNSAAC** y de la evaluación de originalidad se tiene un porcentaje de 10 %.

Evaluación y acciones del reporte de coincidencia para trabajos de investigación conducentes a grado académico o título profesional, tesis

Porcentaje	Evaluación y Acciones	Marque con una (X)
Del 1 al 10%	No sobrepasa el porcentaje aceptado de similitud.	X
Del 11 al 30 %	Devolver al usuario para las subsanaciones.	
Mayor a 31%	El responsable de la revisión del documento emite un informe al inmediato jerárquico, conforme al reglamento, quien a su vez eleva el informe al Vicerrectorado de Investigación para que tome las acciones correspondientes; Sin perjuicio de las sanciones administrativas que correspondan de acuerdo a Ley.	

Por tanto, en mi condición de Asesor, firmo el presente informe en señal de conformidad y adjunto las primeras páginas del reporte del Sistema de Detección de Similitud.

Cusco, 12 de abril de 2026

Josefina Escalante Gutiérrez

Firma

Post firma Josefina Escalante Gutiérrez

Nro. de DNI 23809533


ORCID del Asesor 0000 - 0001 - 9359 - 0481

Se adjunta:

- Reporte generado por el Sistema Antiplagio.
- Enlace del Reporte Generado por el Sistema de Detección de Similitud: oid: 27259:577690733

Mollehuanca- Quispe

Evaluación Geológica- Geotécnica de Factibilidad para la ampliación de la Presa Huayllumayo

 Universidad Nacional San Antonio Abad del Cusco

Detalles del documento

Identificador de la entrega

trn:oid:::27259:577690733

309 páginas

Fecha de entrega

12 abr 2026, 8:34 p.m. GMT-5

60.479 palabras

Fecha de descarga

12 abr 2026, 8:56 p.m. GMT-5

350.809 caracteres

Nombre del archivo

Tesis Mollehuanca.-Quispe.pdf

Tamaño del archivo

13.5 MB

10% Similitud general

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para ca...




Filtrado desde el informe

- ▶ Coincidencias menores (menos de 20 palabras)
- ▶ Fuentes de Internet
- ▶ Base de datos de Crossref
- ▶ Base de datos de contenido publicado de Crossref

Exclusiones


- ▶ N.º de coincidencias excluidas

Fuentes principales

- 0%  Fuentes de Internet
- 0%  Publicaciones
- 10%  Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

Marcas de integridad

N.º de alerta de integridad para revisión

-  **Caracteres reemplazados**
24 caracteres sospechosos en N.º de páginas
Las letras son intercambiadas por caracteres similares de otro alfabeto.

Los algoritmos de nuestro sistema analizan un documento en profundidad para buscar inconsistencias que permitirían distinguirlo de una entrega normal. Si advertimos algo extraño, lo marcamos como una alerta para que pueda revisarlo.

Una marca de alerta no es necesariamente un indicador de problemas. Sin embargo, recomendamos que preste atención y la revise.

DEDICATORIA

A Dios, quien me ha guiado, protegido y bendecido a lo largo de mi vida.

A mi madre Placida Pablo Callapiña, quien es el principal motor en mi vida, el motivo y apoyo incondicional a lo largo de vida académica y gracias a ella he logrado dar un paso más en mi vida profesional.

A mi padre Jose Angel Mollehuanca Santa Cruz, quién es mi bastón, mi compañero y guía a lo largo de mi vida.

A mi hermano José Reynaldo Mollehuanca Pablo, por los consejos que me brinda y por llenar de alegría mis días.

A mi hijo Walther Fabrizio Mollehuanca Yuca, quien es el que me da las fuerzas para seguir este camino de aprendizajes.

Angel Rodrigo Mollehuanca Pablo

Quiero dedicar esta tesis a mis padres, por su incondicional apoyo y amor a lo largo de este camino, así como a mis amigos y seres queridos que siempre estuvieron presentes en cada paso que di.

También quiero dedicar este trabajo a mis profesores y mentores, por su guía y enseñanzas que han sido fundamentales en mi formación académica. Sin ustedes, este logro no hubiera sido posible. ¡Gracias!

Jesús Quispe Cárdenas

AGRADECIMIENTO

Angel

Al concluir una etapa maravillosa en mi vida, quiero extender mi profundo agradecimiento a quienes hicieron posible este sueño, a quienes fueron mi inspiración, apoyo y fortaleza, esta mención para Dios, mis padres y mi hermano muchas gracias a ustedes.

Mi gratitud también a la Escuela Profesional de Ingeniería Geológica que a través de sus docentes y sus enseñanzas permitieron constituir la base de mi vida profesional. Y mi agradecimiento profundo a la alcaldesa de municipalidad provincial de Espinar C.P.C. Cludy Rosmery Laguna CCapa por el apoyo, dedicación, recomendación y todo el tiempo prestado al trabajo de investigación.

Jesús

Quiero expresar mi sincero agradecimiento a todos aquellos que fueron parte de este proceso de investigación y redacción de la tesis. A mi tutor(a) por su orientación y apoyo constante, a mis amigos y familia por su paciencia y comprensión, y a todas las personas que de alguna forma contribuyeron a la realización de este trabajo.

Gracias por creer en mi capacidad y por brindarme su ayuda desinteresada. Este logro no hubiera sido posible sin ustedes. ¡Mil gracias!

RESUMEN

El presente trabajo de investigación tiene como objetivo evaluar la factibilidad geológica y geotécnica de la ampliación de la presa Huayllumayo mediante la construcción de un nuevo eje de presa. El proyecto, constituye una infraestructura esencial para la regulación y el aprovechamiento hídrico de la provincia de Espinar, con una ampliación proyectada de hasta 3 000 000 m³ para una presa de 24.50 m y 265 m de longitud de coronación.

. La metodología incluyó: recopilación bibliográfica y antecedentes, cartografía geológica a detalle, análisis geomorfológico, estudios geofísicos, prospección geotécnica de campo y laboratorio, así como la evaluación hidrogeológica e hidrológica. Adicionalmente, se efectuó un análisis de peligro sísmico probabilístico (PSHA) utilizando el software CRISIS 2007 para obtener curvas de amenaza, espectros de peligro uniforme (UHS) y parámetros de diseño sísmico.

Los resultados geológicos evidencian andesitas del Grupo Tacaza, macizos fracturados y depósitos cuaternarios, con una geomorfología dominada por coladas piroclásticas, terrazas aluviales y laderas erosionadas. El área está influenciada por fallamiento y plegamiento andino con discontinuidades SE-NO y NE-SO.

Geotécnicamente, los materiales del vaso corresponden a depósitos fluviales, coluviales y lacustres de gravas, arenas y limos. Los ensayos Lefranc y las pruebas Lugeon evidenciaron permeabilidades variables, asociadas a la heterogeneidad litológica y al grado de fracturamiento del macizo.

PALABRAS CLAVE: Presa, Factibilidad, Geotecnia, Geología, Peligro sísmico probabilístico.

ABSTRACT

The aim of this research is to evaluate the geological and geotechnical feasibility of the expansion of the Huayllumayo Dam through the construction of a new dam axis. The project represents essential infrastructure for the regulation and sustainable use of water resources in the province of Espinar, with a projected storage increase of up to 3,000,000 m³ for a dam measuring 24.50 m in height and 265 m in crest length.

The methodology included a bibliographic review and analysis of previous studies, detailed geological mapping, geomorphological analysis, geophysical investigations, field and laboratory geotechnical exploration, as well as hydrogeological and hydrological assessment. In addition, a Probabilistic Seismic Hazard Analysis (PSHA) was conducted using CRISIS 2007 software in order to obtain hazard curves, Uniform Hazard Spectra (UHS), and seismic design parameters.

The geological results indicate the presence of andesites belonging to the Tacaza Group, fractured rock masses, and Quaternary deposits, within a geomorphological setting dominated by pyroclastic flows, alluvial terraces, and eroded slopes. The study area is also affected by Andean faulting and folding, with discontinuities trending SE–NW and NE–SW.

From a geotechnical standpoint, the reservoir basin materials consist of fluvial, colluvial, and lacustrine deposits composed of gravels, sands, and silts. Lefranc and Lugeon tests revealed variable permeability values associated with lithological heterogeneity and the degree of rock mass fracturing.

Keywords: Dam, Feasibility, Geotechnics, Geology, Probabilistic seismic hazard.

CONTENIDO

DEDICATORIA.....	I
AGRADECIMIENTO.....	II
RESUMEN.....	II
ABSTRACT.....	V
CAPITULO I : ASPECTOS GENERALES	3
1.1. UBICACIÓN.....	3
1.1.1. Ubicación Política	3
1.1.2. Ubicación Geográfica	3
1.1.3. Ubicación Hidrográfica.....	3
1.2. ACCESIBILIDAD	5
1.3. CLIMA.....	5
1.4. VEGETACION	5
1.5. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	6
1.5.1. Descripción del problema	6
1.5.2. Formulación del problema	7
1.6. OBJETIVOS	8
1.6.1. Objetivo General.....	8
1.6.2. Objetivos Específicos	8
1.7. HIPOTESIS	8
1.7.1. Hipótesis General	8
1.7.2. Hipótesis Específicos.....	9
1.8. JUSTIFICACION	9
1.9. METODOLOGIA DE TRABAJO	10
1.9.1. Tipo de Investigación	10
1.9.2. Planteamiento de trabajo.....	11
1.10. VARIABLES.....	14
1.10.1. Variable Dependiente	14
1.10.2. Variables Independientes	14
1.10.3. Operacionalización de variables.....	14
CAPITULO II: MARCO TEORICO	15
2.1. ANTECEDENTES	15
2.2. MARCO CONCEPTUAL	21
2.2.1. Estudio Geológico-Geotécnico	21
2.2.2. Estudio Geotécnico para presas	21
2.2.3. Estudio Geológico para presas	21
2.2.4. Ingeniería Geotécnica.....	21
2.2.5. Ingeniería Geológica.....	22
2.2.6. Geotecnia.....	22
2.2.7. Presa.....	22

2.2.8. Mecánica de Rocas	23
2.2.9. Mecánica de Suelos	23
2.2.10. Prospección Geofísica.....	23
2.3. MARCO TEORICO.....	24
2.3.1. Ensayos de Mecánica de Suelos	24
2.3.2. Sistema Unificado de Clasificación del Suelo (SUCS).....	28
2.3.3. Mecánica de Rocas	29
2.3.4. Prospección Geofísica.....	35
CAPITULO III: GEOMORFOLOGIA.....	39
3.1. GEOMORFOLOGIA REGIONAL	39
3.2. GEOMORFOLOGÍA LOCAL	41
3.3. PARAMETROS HIDROMORFOMETRICOS	52
CAPITULO IV: GEOLOGIA.....	58
4.1. GENERALIDADES	58
4.2. GEOLOGIA REGIONAL	58
4.3. GEOLOGIA LOCAL.....	59
4.3.1. Grupo Barroso – Caldera Caylloma (Np-cay).....	59
4.3.2. Grupo Tacaza – Andesitas (Np-ta/an).....	61
4.3.3. Depósitos lacustres (Qh-la)	62
4.3.4. Depósito glaciar (Qh-gl).....	63
4.3.5. Depósito fluvio-glaciar (Qh-fg).....	63
4.3.6. Depósito coluvio-deluvial (Qh-cd).....	64
4.3.7. Depósito coluvial (Qh-co)	65
4.3.8. Depósito aluvial (Qh-al)	66
CAPITULO V GEOLOGIA ESTRUCTURAL.....	70
5.1. GENERALIDADES	70
5.2. GEOLOGIA ESTRUCTURAL REGIONAL	70
5.3. GEOLOGIA ESTRUCTURAL LOCAL	71
5.3.1. Fallas	71
5.3.2. Diaclasas y Fracturas	72
5.4. ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN ESTRUCTURAL LOCAL	75
CAPITULO VI GEOHIDROLÓGIA	84
6.1. GENERALIDADES.....	84
6.2. CLASIFICACIÓN HIDROGEOLÓGICA DE UNIDADES LITOLÓGICAS.....	84
6.2.1. Grupo Barroso – Caldera Caylloma	84
6.2.2. Grupo Tacaza – Andesitas	85
6.2.3. Formación Arcurquina – Calizas Grises	85
6.2.4. Depósitos Lacustres (Qh-la).....	86
6.2.5. Depósitos Glaciares (Qh-gl)	86
6.2.6. Depósitos Fluvio-Glaciares (Qh-fg)	87
6.2.7. Depósitos Coluvio-Deluviales (Qh-cd).....	87

6.2.8. Depósitos Aluviales (Qh-al)	88
6.3. BALANCE HÍDRICO.....	92
CAPITULO VII GEODINÁMICA	98
7.1. GEODINAMICA EXTERNA.....	98
7.1.1. Caída de Rocas	98
7.1.2. Soluciones Geotécnicas	99
7.2. GEODINAMICA INTERNA	103
7.3. PELIGRO SÍSMICO	109
7.3.1. Determinación del Vs30:.....	110
7.4. PELIGRO SISMICO PROBABILISTICO (PSHA).....	115
7.4.1. Evaluación de Catálogos Sísmicos (1471 – 2023).....	116
7.4.2. Recurrencia Sísmica.....	119
7.4.3. Leyes de Atenuación (GMPEs)	120
7.4.4. Evaluación de Fuentes Sismogénicas.....	122
7.4.5. Conclusiones Generales.....	124
CAPITULO VIII: GEOFISICA	125
8.1. PROSPECCION GEOFISICA	125
8.2. REFRACCIÓN SÍSMICA.....	127
8.2.1. RS – 01.....	128
8.2.2. RS – 02.....	129
8.2.3. RS – 03.....	130
8.2.4. RS – 04.....	131
8.3. ANÁLISIS DE ONDAS SUPERFICIALES EN ARREGLO MULTICANAL (MASW)	133
8.3.1. MASW - 01.....	137
8.3.2. MASW -02.....	141
8.3.3. MASW – 03.....	145
8.3.4. MASW – 04.....	149
8.4. SONDAJE ELECTRICO VERTICAL (SEV).....	152
8.4.1. SEV - 01.....	156
8.4.2. SEV - 02.....	158
8.4.3. SEV – 03.....	160
8.4.4. SEV – 04.....	162
8.4.5. SEV – 05.....	164
8.4.6. SEV – 06.....	166
8.5. PERFILES GEOELÉCTRICOS	168
8.5.1. PERFIL A - A´	169
8.5.2. PERFIL B – B´	170
8.5.3. PERFIL C – C´	171
8.5.4. PERFIL D – D´	172
8.5.5. PERFIL E – E´	173
8.6. TOMOGRAFIA ELÉCTRICA	174
8.6.1. TE – 01	176
8.6.2. TE – 02	177

CAPITULO IX: GEOTECNIA.....	178
9.1. ALCANCES DEL ESTUDIO GEOTÉCNICO.....	178
9.2. INVESTIGACIONES GEOTECNICAS EN EL VASO Y EJE DE LA PRESA.....	178
9.2.1. Investigación Geotécnica mediante Calicatas.....	179
9.2.2. Investigación Geotécnica mediante Perforación Diamantina.....	186
9.3. DESCRIPCIÓN GEOTÉCNICA DEL SUBSUELO DE CIMENTACIÓN.....	192
9.4. EVALUACIÓN GEOTECNICA DEL ESTRIBO IZQUIERDO.....	193
9.4.1. Evaluación de Perfiles Estratigráficos.....	193
9.4.2. Características Físico Químico-Mecánicas.....	194
9.4.3. Clasificación Geomecánica de Bienawski.....	203
9.4.4. Evaluación Geofísica.....	206
9.4.5. Evaluación de la Permeabilidad.....	207
9.5. EVALUACION GEOTECNICA DEL ESTRIBO DERECHO.....	209
9.5.1. Evaluación de los Perfiles Estratigráficos.....	210
9.5.2. Características físico-mecánicas.....	210
9.5.3. Clasificación geomecánica de Bienawski.....	223
9.5.4. Evaluación Geofísica.....	227
9.5.5. Evaluación de la Permeabilidad.....	228
9.6. EVALUACIÓN GEOTÉCNICA DEL EJE DE PRESA.....	231
9.6.1. Evaluación de los Perfiles Estratigráficos.....	231
9.6.2. Características físico-mecánicas.....	232
9.6.3. Clasificación geomecánica de Bienawski.....	243
9.6.4. Evaluación Geofísica.....	248
9.6.5. Evaluación de la Permeabilidad.....	249
9.7. EVALUACIÓN GEOTÉCNICA DEL VASO DE LA PRESA.....	251
9.7.1. Evaluación de los Perfiles Estratigráficos.....	252
9.7.2. Evaluación geofísica.....	256
9.8. CIMENTACIÓN DE LA PRESA HUAYLLUMAYO.....	257
CAPITULO X: EVALUACION DE FACTIBILIDAD.....	260
10.1. Criterios técnicos y normativas de factibilidad.....	260
10.2. Definición y desarrollo de alternativas de sección.....	262
10.2.1. Alternativa A – Presa de materiales sueltos zonificada con núcleo impermeable..	262
10.2.2. Alternativa B – CFRD (Presa de enrocado con cara de concreto).....	263
10.2.3. Alternativa C – RCC (Presa de hormigón compactado con rodillo).....	264
10.3. Aplicación del método AHP.....	265
CAPITULO XI ESTUDIO DE CANTERAS.....	271
11.1. Cantera de Agregados.....	271
11.2. Cantera de roca.....	272
11.3. Ensayos de Laboratorio.....	274
11.4. Resultados de laboratorio.....	276

CONCLUSIONES	279
RECOMENDACIONES.....	281
BIBLIOGRAFIA	283
ANEXOS	289

Índice de tablas

Tabla 1 Ubicación Geográfica de la Presa Huayllumayo	3
Tabla 2 Accesibilidad al área de estudio - nueva Presa Huayllumayo	5
Tabla 3 Operacionalización de Variables	14
Tabla 4 Puntaje de resistencia. Puntaje RMR para resistencia a la compresión simple.	30
Tabla 5 Puntaje RQD y RMR para calidades de macizos rocosos asociadas al RQD.	30
Tabla 6 Puntaje de espaciamiento. Puntajes RMR para espaciamiento de estructuras "S"	30
Tabla 7 Puntaje de condición de estructuras. Puntajes RMR para condición de estructuras "Jc"	31
Tabla 8 Puntaje de condición de agua. Puntaje RMR para la condición de agua "Wc"	31
Tabla 9 Clasificación del RQD. Clasificación de la calidad del macizo rocoso según el índice RQD.	32
Tabla 10 Clases de valores de longitud de cauce principal.....	52
Tabla 11 Clases de orden de corriente	53
Tabla 12	54
Tabla 13 Tabla estadística para la curva hipsométrica	55
Tabla 14 Clases de valores de compacidad	56
Tabla 15 Resumen de estaciones Geomecánicas	73
Tabla 16 Parámetros estructurales de las ventanas analizadas	73
Tabla 17 Datos estructurales de las discontinuidades	76
Tabla 18 Clasificación Hidrogeológica de Unidades Litológicas	89
Tabla 19 Clasificación de Unidades Geológicas según su comportamiento Hidrogeológico	90
Tabla 20 Volúmenes del balance hídrico	95
Tabla 21 Coeficiente de factores de Zona	103
Tabla 22 Parámetros Sísmicos	104
Tabla 23 Factores de zona "Z"	105
Tabla 24 Parámetros de suelo	106
Tabla 25 Parámetros Sísmicos para el área de estudio	109
Tabla 26 Correlación Geológica, aceleración sísmica y nivel de peligro estimado	115
Tabla 27 Ensayos geofísicos realizados en el eje y vaso de presa	125
Tabla 28 Coordenadas UTM de líneas de refracción sísmica	127
Tabla 29 Identificación de materiales encontrados en la línea RS - 01	129
Tabla 30 Identificación de materiales encontrados en la línea RS - 02	130
Tabla 31 Identificación de materiales encontrados en la línea RS - 03	131
Tabla 32 Identificación de materiales encontrados en la línea RS - 04	132
Tabla 33 Coordenadas UTM de puntos MASW	133
Tabla 34 Descripción de los estratos determinados - MASW 01	137

Tabla 35 Clasificación sísmica ASCE-210 / IBC - 2015	138
Tabla 36 Caracterización del suelo en función del Vs30 de los ensayos realizados	139
Tabla 37 Clasificación sísmica NTP E-030-2018	139
Tabla 38 Parámetros de deformación - MASW 01	139
Tabla 39 Descripción de los estratos determinados - MASW 02	141
Tabla 40 Clasificación sísmica ASCE - 210 / IBC - 2015	142
Tabla 41 Caracterización del suelo en función del Vs30 de los ensayos realizados	143
Tabla 42 Clasificación sísmica NTP 030 - 2018	143
Tabla 43 Parámetros de deformación - MASW 02	143
Tabla 44 Descripción de los estratos determinados - MASW 03	145
Tabla 45 Clasificación sísmica ASCE - 210 / IBC - 2015	146
Tabla 46 Caracterización del suelo en función del Vs30 de los ensayos realizados	147
Tabla 47 Clasificación sísmica NTP 030 - 2018	147
Tabla 48 Parámetros de deformación - MASW 03	147
Tabla 49 Descripción de los estratos determinados - MASW 04	149
Tabla 50 Clasificación sísmica ASCE - 210 / IBC - 2015	150
Tabla 51 Caracterización del suelo en función del Vs30 de los ensayos realizados	151
Tabla 52 Clasificación sísmica NTP 030 - 2018	151
Tabla 53 Parámetros de deformación - MASW 04	151
Tabla 54 Coordenadas UTM de puntos SEV	153
Tabla 55 Resistividad del agua	153
Tabla 56 Valores típicos de resistividad	154
Tabla 57 Valores de resistividades, espesores y profundidades - SEV 01	156
Tabla 58 Valores de resistividades, espesores y profundidades - SEV 02	159
Tabla 59 Valores de resistividades, espesores y profundidades - SEV 03	161
Tabla 60 Valores de resistividades, espesores y profundidades - SEV 04	163
Tabla 61 Valores de resistividades, espesores y profundidades - SEV 05	165
Tabla 62 Valores de resistividades, espesores y profundidades – SEV 06	167
Tabla 63 Coordenadas UTM de líneas de Tomografía Eléctrica	175
Tabla 64 Coordenadas UTM de calicatas ejecutadas	179
Tabla 65 Clasificación de suelos SUCS, de calicatas ejecutadas	180
Tabla 66 Coordenadas UTM perforaciones diamantinas ejecutadas.....	187
Tabla 67 Permeabilidades en las perforaciones de Presa	187
Tabla 68 Propiedades físico-químicas de la roca del sondaje DHPH-01	194
Tabla 69 Propiedades físico-químicas de la roca superficial del estribo izquierdo	195
Tabla 70 Clasificación de las rocas respecto a su resistencia a la compresión simple	195
Tabla 71 Clasificación de la roca por distintos autores en función a rango de valores.....	196

Tabla 72 Clasificación Geomecánica DHPH-01	204
Tabla 73 Datos estructurales de las discontinuidades en el estribo izquierdo	205
Tabla 74 Ensayos geofísicos realizados en el estribo izquierdo	207
Tabla 75 Permeabilidad del sondaje BHPH-01 (estribo izquierdo)	208
Tabla 76 Codificación de muestras representativas en el estribo derecho	211
Tabla 77 Propiedades físico-químicas de la roca de los sondajes DHPH-04 y DHPH-05	211
Tabla 78 Propiedades físico-químicas de la roca superficial del estribo derecho	212
Tabla 79 Clasificación de las rocas a partir de su resistencia a compresión simple	213
Tabla 80 Clasificación de las rocas por distintos autores en función a rango de valores	213
Tabla 81 Clasificación Geomecánica sondaje DHPH-04 – Estribo derecho	224
Tabla 82 Clasificación Geomecánica sondaje DHPH-05 – Estribo derecho	225
Tabla 83 Buzamiento y dirección de buzamiento - estribo derecho	226
Tabla 84 Ensayos Geofísicos realizados en el estribo derecho	228
Tabla 85 Ensayo de permeabilidad tipo Lugeon del sondaje BHPH-04 - estribo derecho	229
Tabla 86 Ensayo de permeabilidad tipo Lugeon del sondaje BHPH-05 - estribo derecho	229
Tabla 87 Ensayo de permeabilidad tipo Lefranc del sondaje BHPH-05 - estribo derecho	230
Tabla 88 Codificación de muestras representativas en la zona de cauce de río	232
Tabla 89 Propiedades físico-químicas de las muestras representativas del sondaje DHPH-02	233
Tabla 90 Propiedades físico-químicas de las muestras representativas del sondaje DHPH-03	233
Tabla 91 Propiedades físico-químicas de la roca superficial de la zona de cauce de río	233
Tabla 92 Clasificación de las rocas a partir de su resistencia a compresión simple	234
Tabla 93 Clasificación de las rocas por distintos autores en función a la resistencia a compresión simple	235
Tabla 94 Clasificación Geomecánica sondaje DHPH-02 – Cauce de río	244
Tabla 95 Clasificación Geomecánica sondaje DHPH-03 – Cauce de río	245
Tabla 96 Buzamiento y dirección de buzamiento - cauce de río	246
Tabla 97 Ensayos geofísicos realizados en el cauce de río	248
Tabla 98 Ensayo de permeabilidad tipo Lugeon del sondaje BHPH-02 - cauce de río	249
Tabla 99 Ensayo de permeabilidad tipo Lefranc del sondaje BHPH-03 - cauce de río	250
Tabla 100 Ensayo de permeabilidad tipo Lugeon del sondaje BHPH-03- cauce de río	250
Tabla 101 Rango de valores del coeficiente de permeabilidad en suelos de la zona 1	253
Tabla 102 Rango de valores del coeficiente de permeabilidad en suelos de la zona 2	254
Tabla 103 Rango de valores del coeficiente de permeabilidad en suelos de la zona 3	254
Tabla 104 Profundidad y coeficiente de permeabilidad de calicatas en el vaso de presa	255
Tabla 105 Ensayos geofísicos realizados en el vaso de presa	256
Tabla 106 Aspectos clave para la cimentación	257
Tabla 107 Resumen numérico de la profundidad de cimentación propuesto	258

Tabla 108	Criterios técnicos y normativas de factibilidad	261
Tabla 109	Factores de seguridad (FS) de referencia	262
Tabla 110	Cantidades preliminares de material - Alternativa A.....	263
Tabla 111	Cantidades preliminares de material - Alternativa B.....	264
Tabla 112	Cantidades preliminares de materiales - Alternativa C	265
Tabla 113	Cribado (Go/No-Go) por condiciones del sitio	266
Tabla 114	Criterios y métricas objetivas	266
Tabla 115	Puntajes obtenidos de cada alternativa de presa.....	268
Tabla 116	Fundamentos técnicos que sustentan la elección	270
Tabla 117	Coordenadas UTM de las canteras de tipo agregado y roca	274
Tabla 118	Ensayos de laboratorio realizados a las canteras de agregado	275
Tabla 119	Ensayos de laboratorio realizados a las canteras de roca	276
Tabla 120	Ensayos realizados a la cantera de agregados Huayllumayo	277
Tabla 121	Ensayos realizados a la cantera de roca Alta Huayllacollana	278
Tabla 122	Ensayos realizados a la cantera de roca Huayllumayo	278

Índice de figuras

Figura 1 Esquema de instalación del ensayo de permeabilidad de tipo Lefranc	34
Figura 2 Esquema de instalación del ensayo de permeabilidad de tipo Lugeon	35
Figura 3 Dispositivo Geoeléctrico (Tomado de Martínez, P. 2006)	36
Figura 4 Modelo de perfil de Tomografía Eléctrica Resistiva	36
Figura 5 Modelo de Sísmica de Refracción	37
Figura 6 Muestra de datos MASW	38
Figura 7 Estereonet para identificación de orientaciones de discontinuidades	77
Figura 8 Diagrama de rosas para visualización de direcciones predominantes	78
Figura 9 Análisis de tendencias estructurales	80
Figura 10 Interpretación estructural del área de estudio	83
Figura 11 Datos estadísticos de precipitación analizada en la cuenca	92
Figura 12 Datos de precipitación analizada en la cuenca	94
Figura 13 Distribución de volúmenes del balance hídrico	95
Figura 14 Zonificación Sísmica del Perú (RNC, 2016)	104
Figura 15 Mapa de distribución de Máximas Intensidades Sísmicas del Dpto. del Cusco	106
Figura 16 Distribución de Ordenadas Espectrales	108
Figura 17 Curva de recurrencia sísmica ajustada con datos históricos e instrumentales (1471– 2023)	119
Figura 18 Curva de Peligro Sísmico	121
Figura 19 Fuentes de subducción (Izquierda) y Continentales (Derecha)	122
Figura 20 Tasa de excedencia de intensidades	123
Figura 21 Espectro de peligro uniforme	123
Figura 22 Espectro de Respuesta Medio Condicional (CMS), $T = 4.00$, $T_f = 50.0$	124
Figura 23 Línea de Refracción Sísmica RS-01	129
Figura 24 Línea de Refracción Sísmica RS - 02	130
Figura 25 Línea de Refracción Sísmica RS - 03	131
Figura 26 Línea de Refracción Sísmica RS - 04	132
Figura 27 Distribución de puntos de disparo del ensayo MASW	136
Figura 28 Perfil unidimensional y descripción de los estratos determinados – MASW 01	140
Figura 29 Perfil Unidimensional y descripción de los estratos determinados - MASW 02	144
Figura 30 Perfil Unidimensional y descripción de los estratos determinados - MASW 03	148
Figura 31 Perfil Unidimensional y descripción de los estratos determinados - MASW 04	152
Figura 32 Curva de resistividad - SEV 01	157
Figura 33 Columna estratigráfica - SEV 01	158
Figura 34 Curva de resistividad - SEV 02	159

Figura 35 Columna estratigráfica - SEV 02	160
Figura 36 Curva de resistividades - SEV 03	161
Figura 37 Columna estratigráfica - SEV 03	162
Figura 38 Curva de resistividad - SEV 04	163
Figura 39 Columna estratigráfica - SEV 04	164
Figura 40 Curva de resistividad - SEV 05	165
Figura 41 Columna estratigráfica - SEV 05	166
Figura 42 Curva de resistividades - SEV 06	167
Figura 43 Columna estratigráfica - SEV 06	168
Figura 44 Perfil Geoelectrico A – A´	169
Figura 45 Perfil Geoelectrico B - B´	170
Figura 46 Perfil Geoelectrico C – C´	171
Figura 47 Perfil Geoelectrico D – D´	172
Figura 48 Perfil Geoelectrico E – E´´	173
Figura 49 Modelo de sección de resistividad - TE 01	176
Figura 50 Modelo de sección de resistividad - TE 02	177
Figura 51 Perfil estratigráfico calicata C - 01	181
Figura 52 Perfil estratigráfico calicata C - 02	182
Figura 53 Perfil estratigráfico calicata C - 03	183
Figura 54 Perfil estratigráfico calicata C - 04	184
Figura 55 Perfil estratigráfico calicata C - 05	185
Figura 56 Perfil estratigráfico calicata C - 06	186
Figura 57 Carga admisible de cimentaciones en roca basada en un criterio de rotura no lineal	198
Figura 58 Cálculo de asentos método Schleicher (1962), método general	199
Figura 59 Factores que aceleran y mitigan en ataque químico al concreto y roca	202
Figura 60 Proyección estereográfica del análisis cinemático del estribo izquierdo	206
Figura 61 Sección de permeabilidad del estribo izquierdo	209
Figura 62 Carga admisible de cimentaciones en roca del sondaje DHPH-04, desde 1.60 hasta 24.0m	216
Figura 63 Carga admisible de cimentaciones en roca del sondaje DHPH-04, desde 24.0m hasta 28.80m	217
Figura 64 Carga admisible de cimentaciones en roca del sondaje DHPH-05, desde 19.10m hasta 29.70m.	218
Figura 65 Cálculo de asentos método Schleicher (1962), sondaje DHPH-04 desde 1.60m hasta 24.0m	219
Figura 66 Cálculo de asentos método Schleicher (1962), sondaje DHPH-04 desde 24.0m hasta 28.8m	220

Figura 67 Cálculo de asientos método Schleicher (1962), sondaje DPH-04 desde 24.0m hasta 28.8m	221
Figura 68 Proyección estereográfica del estribo derecho	227
Figura 69 Sección de permeabilidad del estribo derecho.....	230
Figura 70 Carga admisible de cimentaciones en roca del sondaje DPH-02, desde 9.20m hasta 46.20m.	238
Figura 71 Carga admisible de cimentaciones en roca del sondaje DPH-03, desde 11.44m hasta 40.10m.	239
Figura 72 Cálculo de asientos método Schleicher (1962), sondaje DPH-02 desde 9.20m hasta 46.20m	240
Figura 73 Cálculo de asientos método Schleicher (1962), sondaje DPH-03 desde 11.44m hasta 40.10m	241
Figura 74 Proyección estereográfica del cauce de rio.....	247
Figura 75 Sección de permeabilidad del Eje de Presa.....	251

Índice de Mapas

Mapa 1 Ubicación del nueve eje de Presa	4
Mapa 2 Mapa Geomorfológico local del área de estudio	42
Mapa 3 Mapa de Subunidades Geomorfológicas Regionales	51
Mapa 4 Visualización 3D del mapa geológico local del área de estudio	68
Mapa 5 Mapa Geológico Local	69
Mapa 6 Mapa Hidrogeológico	91
Mapa 7 Mapa de Isoyetas	97
Mapa 8 Mapa de Geodinamica Externa	102
Mapa 9 Visualización 3D del mapa de peligro sísmico estimado de la aceleración Vs30	112
Mapa 10 Mapa de Peligro Sísmico basada en Vs30	113

Índice de fotografías

Fotografía 1 Afloramiento de tobas (ignimbritas) en el estribo derecho del eje de presa	60
Fotografía 2 Afloramiento de la unidad Grupo Tacaza en el estribo izquierdo	62
Fotografía 3. Depósito fluvio-glaciar	64
Fotografía 4 Depósito Coluvio-Deluvial en el vaso de presa.....	65
Fotografía 5 Depósito Coluvial en el cauce de rio	66
Fotografía 6 Deposición de los depósitos aluviales en el vaso de presa	67
Fotografía 7 Caída de rocas en estribo derecho e izquierdo.....	101
Fotografía 8 Vista panorámica de la cantera de agregados Huayllumayo	272
Fotografía 9 Vista frontal de la cantera de roca Huayllumayo.....	273
Fotografía 10 Vista panorámica de la cantera de roca Alto Huayllacollana	273

INTRODUCCIÓN

El presente trabajo tiene como objetivo evaluar si el terreno donde se propone construir un nuevo eje para la ampliación de la Presa Huayllumayo cumple con las condiciones geológicas y geotécnicas necesarias para que la obra sea segura y viable. Para ello se realizaron estudios de campo, ensayos de laboratorio, análisis geofísicos y una evaluación del peligro sísmico, buscando comprender de forma completa cómo se comporta el suelo, la roca y el agua en esta zona.

En el Capítulo I se describen los datos generales del proyecto, la ubicación, la accesibilidad y el problema que motivó la ampliación de la presa. También se explican los objetivos, la hipótesis y la metodología que se siguió durante toda la investigación.

En el Capítulo II se presenta el marco teórico, donde se resumen los conceptos y criterios técnicos que se utilizan en estudios geológicos y geotécnicos para presas.

El Capítulo III describe la geomorfología del área, es decir, las formas del relieve y los procesos que han modelado el terreno, información importante para entender la estabilidad de la zona.

El Capítulo IV aborda la geología, detallando las rocas y depósitos que afloran en el lugar, lo que permite conocer las características del subsuelo donde se fundará la presa.

En el Capítulo V se analiza la geología estructural, especialmente las fallas, diaclasas y fracturas que pueden influir en la permeabilidad y en la estabilidad del eje propuesto.

El Capítulo VI estudia el comportamiento del agua subterránea y el balance hídrico de la cuenca, aspectos esenciales para controlar filtraciones y garantizar el buen funcionamiento de la infraestructura.

El Capítulo VII evalúa la geodinámica y el peligro sísmico de la zona, determinando los parámetros sísmicos necesarios para el diseño de la presa.

El Capítulo VIII presenta los resultados de los métodos geofísicos utilizados para conocer la estratigrafía y las propiedades del subsuelo de manera indirecta.

El Capítulo IX integra los datos geotécnicos obtenidos de calicatas, perforaciones y ensayos, permitiendo definir los parámetros que controlan la estabilidad del eje, vaso y estribos.

En el Capítulo X se comparan diferentes tipos de presas y se selecciona la alternativa más adecuada aplicando el método AHP.

Finalmente, el Capítulo XI describe las canteras evaluadas y la calidad de los materiales disponibles para la construcción.

En conjunto, este estudio permite determinar si la ampliación de la Presa Huayllumayo mediante la construcción de un nuevo eje de presa, es factible y técnicamente viable, garantizando una cimentación estable, un adecuado control de filtraciones y niveles de seguridad compatibles con la normativa vigente.

CAPITULO I : ASPECTOS GENERALES

1.1. UBICACIÓN

El presente estudio está ubicado en la presa Huayllumayo que se encuentra en la parte alta del distrito de Espinar, políticamente está ubicada según se lista a continuación:

1.1.1. Ubicación Política

Políticamente la zona de estudio se encuentra dividida de la siguiente manera:

Ubicación Política	
Departamento	Cusco
Provincia	Espinar
Distrito	Espinar

1.1.2. Ubicación Geográfica

La zona de estudio se encuentra en las siguientes coordenadas UTM:

Tabla 1

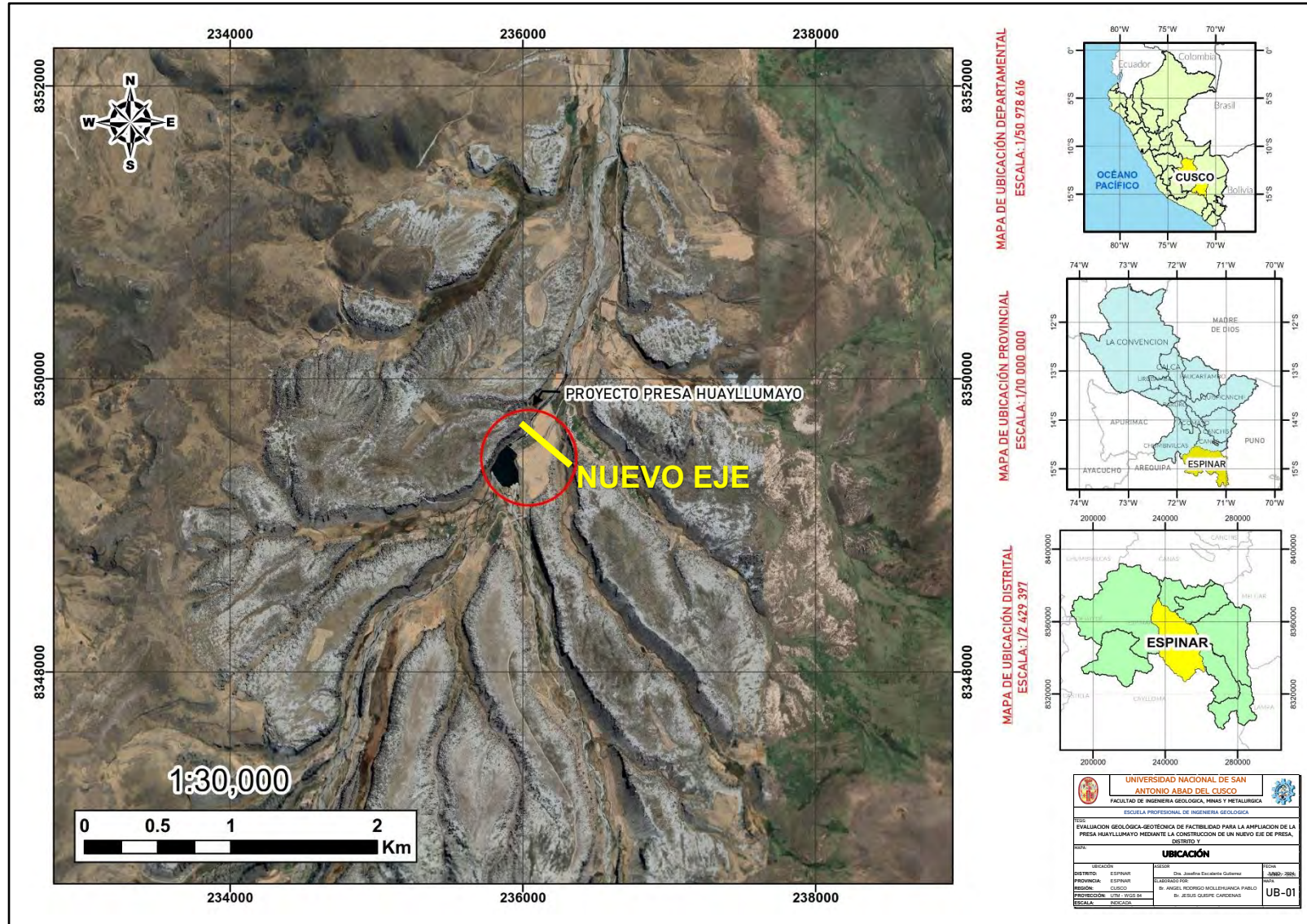
Ubicación Geográfica de la Presa Huayllumayo

Coordenadas UTM		Zona	Datum
Norte	8349571	19 L	WGS84
Este	236015	19 L	WGS84
Altitud	3974 m.s.n.m.		

1.1.3. Ubicación Hidrográfica

Hidrográficamente la presa se encuentra en la microcuenca Huayllumayo de la sub cuenca Cañipia, Cuenca de Cañipia..

Mapa 1 Ubicación del nuevo eje de Presa



1.2. ACCESIBILIDAD

Las principales vías de acceso se presentan en la siguiente tabla:

Tabla 2

Accesibilidad al área de estudio - nueva Presa Huayllumayo

Vías de acceso	Distancia (Km)	Tiempo (Hrs)	Tipo de vía
Cusco – Sicuani – Espinar - Presa Huayllumayo	242	5 h 13 min	Asfaltada-Trocha carrozable
Arequipa - Negromayo- Occoruro – Pallpata – Espinar -Presa Huayllumayo	310	5 h 44 min	Asfaltada-Trocha carrozable

1.3. CLIMA

La zona de estudio se encuentra en un entorno de altiplano andino, siendo un fenómeno común las heladas durante las noches y fuertes descensos de temperaturas que alcanzan los -6°C . El clima también es cálido y nublado debido a la presencia de condiciones soleadas de marzo a agosto. Los meses de diciembre a marzo, que se caracterizan por fuertes precipitaciones y tormentas ocasionales de nieve y granizo, tienen un rango de temperatura promedio de 3° a 12°C .

1.4. VEGETACION

A una altura de más de 3800 m.s.n.m la mayor parte del área está cubierta por ichu, así como pastos naturales como musgos e incluso líquenes. La temporada de lluvias trae consigo la siembra de papa, quinua y avena en los cerros. Principalmente en noviembre y diciembre los habitantes cultivan sus cultivos para el consumo y la cría de ganado altiplánico.

1.5. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.5.1. Descripción del problema

La actual capacidad de la presa Huayllumayo (148 000 000 m³) es insuficiente para satisfacer la creciente demanda de agua potable y las necesidades agrícolas en todo el abanico de Espinar. La presa es una de las principales fuentes de agua para la Planta de Tratamiento de Agua Potable Virgen de Chapi, además que abastece tanto a la población urbana como a las zonas agrícolas de las comunidades como Hatun Ayracollana, Oquebamba y Pumahuasi (aguas abajo).

Ante este escenario, se ha proyectado la ampliación de la presa, que no solo busca aumentar el almacenamiento útil y confiabilidad hidráulica sin comprometer la estabilidad ni la integridad ambiental, sino también redes de distribución y sistemas de alcantarillado denominándola "la nueva Huayllumayo". Para asegurar continuidad del servicio, y una operación más eficiente, se propone ampliar la infraestructura mediante la **construcción de un nuevo eje de presa** ubicado en las coordenadas:

Vértice Izquierdo: 235937.33 E – 8349627.69 N

Vértice Derecho: 236097.68 E – 8349416.71 N

Con una longitud de coronamiento de 265 m y una altura de 24.50 m, la propuesta de ampliación de la presa implica no solo una modificación estructural de la infraestructura existente, sino también una intervención directa sobre el entorno geológico–geotécnico que condiciona su estabilidad y seguridad. Esta decisión demanda la verificación, mediante información actualizada del sitio, de aspectos como la geología, geotecnia, hidrología, hidrogeología, geofísica y peligro sísmico local.

Se cuenta con antecedentes tanto de la presa actualmente construida como del proyecto que plantea su futura ampliación. Asimismo, existe un estudio previo que, por su antigüedad, presenta información incompleta o desactualizada que requiere ser revisada y corregida. Abordar estas limitaciones resulta esencial para garantizar que, en la ampliación de la presa mediante la ejecución de un nuevo eje, se minimicen los riesgos constructivos y operativos. De esta manera, se asegura no solo la viabilidad técnica y económica del proyecto, sino también la seguridad de las comunidades que dependen de la infraestructura y la sostenibilidad de los recursos hídricos a largo plazo.

1.5.2. Formulación del problema

1.5.2.1. Problema General

¿Cómo influyen las características geológicas y geotécnicas del sitio en el nuevo eje propuesto en la factibilidad técnica y la seguridad de ampliación de la Presa Huayllumayo?

1.5.2.2. Problemas Específicos

- ¿Cuáles son las características geológicas y estructurales del área de emplazamiento del nuevo eje y cómo condicionan la fundación y el emplazamiento de la presa?
- ¿Cuáles son los parámetros geotécnicos clave de los estratos del subsuelo y en qué medida cumplen los criterios de estabilidad requeridos para la ampliación de la presa?
- ¿Qué tipo de presa nos ayudara a determinar utilizando el método de análisis multicriterio de evaluación de Saaty?

- ¿Qué tratamientos geotécnicos son necesarios para controlar filtración y garantizar los factores de seguridad exigidos por RNE-E050/E030?

1.6. OBJETIVOS

1.6.1. Objetivo General

Evaluar cómo las características geológicas y geotécnicas del sitio en el nuevo eje propuesto condicionan la factibilidad técnica y la seguridad de la ampliación de la Presa Huayllumayo.

1.6.2. Objetivos Específicos

- Caracterizar el medio geológico - estructural del área de emplazamiento (litologías, discontinuidades) y establecer su influencia en la fundación.
- Determinar los parámetros geotécnicos clave del subsuelo (ángulo de fricción ϕ , cohesión c , módulo de elasticidad E , permeabilidad k , densidad γ) mediante investigación de campo y ensayos de laboratorio.
- Comparar las alternativas de tipología aplicando análisis multicriterio costo-beneficio y de seguridad.
- Proponer y dimensionar los tratamientos geotécnicos que controlen filtraciones y aseguren desempeño hidráulico-estructural

1.7. HIPOTESIS

1.7.1. Hipótesis General

Las características geológicas y geotécnicas del nuevo eje sí permiten diseñar la ampliación de la Presa Huayllumayo cumpliendo los criterios de factibilidad técnica y seguridad que satisfacen la RNE-E050/E030 e ICOLD.

1.7.2. Hipótesis Específicos

- Las características geológicas y estructurales del área del nuevo eje condicionan la fundación y el emplazamiento de la presa de forma favorable.
- Los parámetros geotécnicos clave de los estratos del subsuelo (ϕ , c , E , k y γ) se ubican en rangos que, con los tratamientos de fundación y control de filtraciones propuestos, permiten cumplir los criterios de estabilidad para la ampliación de la presa.
- Realizando la evaluación de análisis multicriterio de evaluación de Saaty propondremos la mejora alternativa de presa.
- Los tratamientos geotécnicos estarán en función a los parámetros mínimos que deben cumplir según la normativa E 030/E 050 e ICOLD.

1.8. JUSTIFICACION

Valor teórico

Esta investigación aporta al cuerpo de conocimiento científico-técnico en el campo de la ingeniería geológica, específicamente en el ámbito del análisis geotécnico para obras hidráulicas. La recopilación, interpretación y modelado de datos geológicos y geotécnicos en el contexto, permitirá ampliar las bases comparativas con otros proyectos similares a nivel regional y nacional, generando un marco de referencia útil para futuras investigaciones.

Valor Social

La construcción de esta presa tiene un impacto directo en la calidad de vida de las comunidades Hatun Ayracollana, Oquebamba y Pumahuasi al asegurar una fuente

confiable de agua para el riego agrícola. Esto puede traducirse en un incremento significativo de la productividad agraria, generando mejores condiciones económicas y alimentarias para las comunidades locales.

Implicancias prácticas

El estudio radica en la prevención de riesgos geotécnicos, tales como asentamientos diferenciales, filtraciones o fallas estructurales, que podrían comprometer la integridad la presa. La información obtenida permitirá tomar decisiones fundamentadas en la fase de diseño e implementación, optimizando costos, tiempos de ejecución y recursos constructivos, y asegurando que la infraestructura se desarrolle de manera segura y eficiente.

Conveniencia

Este estudio se justifica plenamente ya que responde a una necesidad concreta del desarrollo regional sostenible, integrando el aprovechamiento racional del recurso hídrico con la seguridad geotécnica de la infraestructura. Su realización facilitará la toma de decisiones fundamentadas y contribuirá al éxito del proyecto a mediano y largo plazo.

1.9. METODOLOGIA DE TRABAJO

1.9.1. Tipo de Investigación

Tipo de investigación: Investigación aplicada, de alcance descriptivo–explicativo, enfoque cuantitativo, diseño no experimental–transeccional, bajo la estrategia de estudio de caso. (Hernández Sampieri, Kerlinger y Robert K. Yin).

Método de investigación: El estudio se desarrolló bajo el método hipotético–deductivo (Karl Popper), con estrategia de estudio de caso (Robert Yin) y herramientas cuantitativas de evaluación ingenieril, incorporando el AHP para decisión multicriterio (Saaty).

1.9.2. Planteamiento de trabajo

El estudio se fundamentará en un estudio detallado, que se realizará considerando las siguientes etapas:

1.9.2.1. Etapa de Pre-Campo

- Revisión y evaluación de los estudios anteriores realizados.
- Se realiza una interpretación (geológica, estructural, etc.) previa del cuadrángulo de la zona de estudio, basándose en el Boletín N°143, GEOLOGIA DEL CUADRANGULO DE CONDOROMA, HOJA 31-t, así mismo del boletín N° 58, GEOLOGIA DE LOS CUADRANGULOS DE VELILLE, YAURI, AYAVIRI Y AZANGARO, HOJAS 30-s, 30-t, 30-u, 30-v.
- Recopilación de material bibliográfico correspondiente al objeto de estudio.
- Fotointerpretación y visualización de imágenes satelitales.
- Elaboración de mapas base preliminares como topográficos y geológicos con la base de datos del INGEMMET, cuadrángulo de Condoroma 31t.
- Evaluación de la ubicación de perforaciones diamantinas.
- Elaboración de un cronograma de actividades, estructura de costos y presupuestos, donde se toman en cuenta tiempos de trabajo, costos de materiales, servicios tomados y gastos que se realizaran durante la elaboración de la tesis.

1.9.2.2. Etapa de Campo

- Mapeo geológico de superficie en el área del vaso, escala 1:1,000.
- Mapeo geológico de superficie en el área de la cerrada, escala 1: 1000.
- Mapeo geológico regional de la zona de influencia, escala 1:15,000.
- Fotointerpretación geológica del área del proyecto, correlacionándola con las cartas geológicas existentes.
- Recolección de muestras de suelos y rocas, mediante la prospección de calicatas, afloramientos rocosos.
- Caracterización Geomecánica de los macizos rocosos.
- Prospección Geofísica por el Método de Refracción Sísmica.
- Prospección Geofísica por el Método de Tomografía Eléctrica.
- Prospección Geofísica por el Método de MASW.
- Perforación Diamantina.
- Ensayos de Permeabilidad de tipo Lefranc y Lugeon.

1.9.2.3. Etapa de Laboratorio

Ensayos de muestras en Laboratorio de Mecánica de Suelos.

- Análisis Granulométrico (ASTM D-422)
- Contenido de Humedad (ASTM D-2216)
- Material que pasa Malla N°200 (ASTM C-117)
- Límites de Consistencia (ASTM-4318)
- Gravedad Específica (ASTM C-127)
- Peso unitario (ASTM C-29)

- Peso Específico y Absorción – agregado grueso (ASTM C-127)
- Partículas Chatas y Alargadas (ASTM D-4791)
- Abrasión de los Ángeles (ASTM C-131)
- Equivalente de arena (ASTM D-2419)
- Ensayo de durabilidad (MTC E-209)

Ensayos de muestras en Laboratorio de Mecánica de Rocas

- Compresión Simple
- Triaxial
- Constantes Elásticas
- Peso específico verdadero
- Ensayos durabilidad

1.9.2.4. Etapa de Gabinete

- Procesamiento e interpretación de datos obtenidos en campo mediante el uso de herramientas informáticas como; Microsoft Word, Microsoft Excel, ArcGIS, AUTOCAD, Civil 3D, Google Earth, Sas Planet, etc.).
- Cálculo del análisis granulométrico y límites de consistencia de suelos muestreados.
- Cálculo de la densidad natural y densidad húmeda.
- Análisis e interpretación de las muestras de rocas y suelos.
- Procesamiento e interpretación de los ensayos de; sondeo eléctrico vertical, tomografía eléctrica, refracción sísmica y MASW.
- Elaboración de los planos y perfiles geotécnicos a diferentes escalas.
- Redacción del informe final de tesis.

1.10. VARIABLES

1.10.1. Variable Dependiente

Factibilidad Geológica-Geotécnica para la Ampliación de la Presa
Huayllumayo

1.10.2. Variables Independientes

- a) Geología
- b) Geotecnia

1.10.3. Operacionalización de variables

Tabla 3

Operacionalización de Variables

Variables	Definición Conceptual	Dimensión	Indicadores
Variable Independiente Geología		Geomorfología Litoestratigrafía Geología Estructural Mecánica de Suelos	Mapa Topográfico Mapa de Pendientes Mapa Geomorfológico Mapa Geológico Mapa Estructural
Variable Independiente Geotecnia		Prospección Directa Prospección Indirecta	Perforación Diamantina Calicatas Refracción Sísmica MASW Tomografía Eléctrica

CAPITULO II: MARCO TEORICO

2.1. ANTECEDENTES

Internacionales

1) **González y Mendoza, 2019.** "*Estudio geológico y geotécnico para el diseño de Embalse Catemu, Región de Valparaíso, Chile.*". Universidad de Concepción, Facultad de Ciencias Químicas, Departamento de Ciencias de la Tierra.

Constituye un referente metodológico relevante para proyectos de presas en zonas andinas. La investigación tuvo como objetivo caracterizar detalladamente las condiciones del terreno en el eje de la presa y sus obras complementarias mediante cartografía geológica a escala fina, análisis estructural y la ejecución de una extensa campaña de perforaciones diamantinas que alcanzó cerca de 1 943 metros de testigos. Los resultados permitieron establecer la presencia de un basamento volcánico de andesitas, dacitas y brechas cubierto por potentes depósitos fluviales, además de identificar zonas de roca alterada y estructuras potencialmente inestables en los estribos.

Asimismo, la tesis incorporó ensayos geotécnicos y de permeabilidad (Lefranc y Lugeon), que permitieron clasificar el macizo rocoso mediante parámetros RQD y RMR, evaluar la calidad de las fundaciones y determinar la continuidad del perfil geomecánico. Entre los aportes importantes se destaca: la Importancia de la profundidad del perfil suelo-roca, Integración de geología estructural con geotecnia, Metodologías validadas para estudio geotécnico.

2) Trujillo y Rodríguez, 2018. *“Estudio geológico y caracterización geotécnica en el sector de ciudadela Comgirardot del municipio de Girardot departamento de Cundinamarca, Corporación Universitaria Minuto de Dios, Girardot - Colombia.”.* Universidad de Concepción, Facultad de Ciencias Químicas, Departamento de Ciencias de la Tierra.

Desarrolló un estudio integral de carácter geológico y geotécnico en el sector urbano de la Ciudadela Comgirardot, en el municipio de Girardot, con el objetivo de identificar las causas de deterioro estructural de las viviendas y determinar las condiciones del suelo que impactan la estabilidad de las construcciones. El trabajo se basó en análisis de campo, campañas de sondeos, muestreo de suelos y la realización de ensayos de laboratorio para caracterizar las propiedades físicas y mecánicas de los materiales presentes en el área de estudio.

Entre los principales resultados, se evidenció la presencia de suelos con variaciones significativas en granulometría y plasticidad, con arcillas limosas y materiales de plasticidad media a baja, así como diferencias en la resistencia al corte y tensiones admisibles que pueden influir directamente en la capacidad portante del terreno. Asimismo, se evaluaron parámetros geotécnicos relevantes como la capacidad portante, coeficientes de seguridad y clasificación de perfiles de suelo bajo normas sismo-resistentes vigentes.

Entre los aportes importantes se destaca: La sistematización de los ensayos de laboratorio, el análisis de perfiles estratigráficos y la correlación de métodos directos e indirectos pueden ser adaptados a evaluaciones de estabilidad de fundaciones, análisis de riesgo geológico y diseño de obras de infraestructura.

Nacionales

3) Neyra, 2019. *“Estudio Geológico - Geotécnico y Mecánica de Suelos para la construcción del puente Malvas – Malvitas, distrito de Suyo – provincia de Ayabaca – departamento de Piura”.*

Desarrolló un estudio integral geológico, geotécnico y de mecánica de suelos con el objetivo de proporcionar la caracterización del subsuelo y establecer las condiciones técnicas necesarias para el diseño y construcción del puente Malvas – Malvitas, en el distrito de Suyo (Piura, Perú). El trabajo combinó cartografía geológica detallada, muestreos, campañas de sondeos y ensayos de laboratorio para identificar las propiedades físicas, químicas y mecánicas de los suelos y rocas presentes en el trazo del proyecto.

Los resultados principales incluyeron la determinación de perfiles estratigráficos, la clasificación geotécnica de materiales, y la cuantificación de parámetros clave como la densidad, humedad natural, límites de Atterberg, índice de plasticidad, granulometría, densidad relativa, ángulo de fricción interna (ϕ) y cohesión (c). Se identificaron diversas unidades geológicas que condicionan la respuesta mecánica de los terrenos, así como zonas con materiales de baja calidad geotécnica que podrían afectar la capacidad portante de fundaciones y la estabilidad de taludes asociados al proyecto puente.

Entre los aportes principales destaca. La integración de la información geológica y de mecánica de suelos ofrece una base sólida para comprender el comportamiento del terreno ante cargas estructurales y variaciones ambientales.

4) Pinedo, 2019. *“Estudio Geológico – Geotécnico para la reubicación de la línea de descarga norte de la mina Antamina, distrito de San Marcos, provincia de Huari, departamento de Ancash”*

Desarrolló un estudio geológico–geotécnico integral con el fin de evaluar la viabilidad técnica para la reubicación de la línea de descarga norte de la mina Antamina, una de las operaciones mineras más importantes del Perú. Para ello, se ejecutó una caracterización detallada del terreno mediante cartografía geológica, análisis estructural, levantamiento geomorfológico, campañas de perforación, muestreo de suelos y rocas, además de ensayos de laboratorio para determinar las propiedades geomecánicas de los materiales.

Los resultados permitieron identificar unidades litológicas con diferente grado de alteración, zonas de fracturamiento, cambios en la competencia del macizo rocoso y sectores susceptibles a inestabilidades como deslizamientos superficiales y movimientos en masa. A través de clasificaciones geotécnicas estándar, como RQD, RMR y GSI, se evaluó la calidad del macizo y se modelaron condiciones de estabilidad en zonas críticas. Asimismo, se analizaron parámetros geotécnicos esenciales (cohesión, ángulo de fricción, módulos de deformación y permeabilidad), los cuales fueron determinantes para definir la aptitud del terreno para soportar nuevas estructuras relacionadas con el sistema de descarga minera.

Entre los aportes principales destaca. caracterización del terreno de fundación, identificación de zonas geológicamente debilitadas, evaluación de estabilidad y vulnerabilidad sísmica, análisis de riesgos constructivos y validación técnica de alternativas de diseño basadas en el comportamiento real del terreno.

Locales

5) Cáceres y Lipa, 2021. *“Estudio Geológico - Geotécnico de factibilidad para la construcción de la presa Prado Esperanza, Distrito Pallpata, Provincia de Espinar Departamento de Cusco”.*

Desarrolló un estudio geológico–geotécnico orientado a evaluar la factibilidad técnica de construir una presa en la zona de Prado Esperanza, ubicada también en la provincia de Espinar, lo que la convierte en un antecedente altamente relevante para investigaciones relacionadas con infraestructura hidráulica en la región altoandina. El estudio abordó la caracterización detallada del terreno mediante cartografía geológica, reconocimiento de unidades litológicas, análisis estructural de discontinuidades y la elaboración de perfiles geotécnicos en el eje de la presa y sus alrededores.

La investigación incluyó el procesamiento de resultados de sondeos, calicatas y ensayos de laboratorio, donde se identificaron parámetros geomecánicos fundamentales como cohesión, ángulo de fricción, humedad natural, densidad seca, granulometría, plasticidad y valores de permeabilidad. Estos datos permitieron clasificar los materiales presentes mediante sistemas como SUCS y AASHTO, además de establecer su capacidad portante y su comportamiento frente a cargas de obra. Asimismo, se evaluó el macizo rocoso mediante criterios como RQD y RMR, determinando sectores con roca competente y zonas con materiales alterados susceptibles al desarrollo de filtraciones o asentamientos.

Uno de los aportes más relevantes de la tesis fue la evaluación de la estabilidad de taludes y del terreno de fundación, determinando factores de seguridad bajo

condiciones estáticas y condiciones saturadas especialmente enrocado, suelos finos y materiales para filtros, analizando su procedencia, calidad y volúmenes explotables.

6) **Huamán y Baca, 2020.** *“Evaluación Geológico - Geotécnica para la construcción de la presa Huathua laguna, distrito de Quiquijana, provincia de Quispicanchis, departamento de Cusco”*

Desarrolló una evaluación geológica–geotécnica integral con el propósito de determinar la factibilidad técnica para la construcción de la presa Huathua Laguna, ubicada en la zona altoandina del distrito de Quiquijana (Cusco). El estudio incluyó trabajos de campo orientados a la identificación de unidades litológicas, levantamiento geomorfológico, caracterización estructural de discontinuidades (diaclasas, fracturas, planos de debilidad) y análisis de factores que podrían influir en la estabilidad del futuro embalse y sus obras anexas.

Mediante la ejecución de calicatas, muestreos y ensayos de laboratorio, se determinaron parámetros geotécnicos fundamentales como granulometría, límites de Atterberg, densidad, humedad natural, cohesión, ángulo de fricción interna y permeabilidad. Estos datos permitieron clasificar los suelos según SUCS y evaluar su aptitud como materiales de construcción o como parte del terreno de cimentación. La investigación también incorporó la evaluación del macizo rocoso empleando sistemas de clasificación como RQD y RMR, identificando zonas de roca competente y sectores con alteración moderada a fuerte que requerirían tratamiento o mitigación

Uno de los aportes mas relevantes de la tesis fue: en la evaluación geológica del eje de presa, la caracterización del subsuelo mediante ensayos de laboratorio, el análisis de estabilidad y la verificación de la disponibilidad de materiales de construcción.

2.2. MARCO CONCEPTUAL

2.2.1. Estudio Geológico-Geotécnico

Es el método de investigación que se encarga del conocimiento geológico y de las observaciones en campo fundamentales para la evaluación de las condiciones mecánicas de los materiales rocosos. Estas, medidas acompañadas de los resultados de ensayos manuales y de laboratorio, junto con los análisis, son las herramientas que disponen la mecánica de suelos para determinar las propiedades geotécnicas necesarias para el estudio y la predicción del comportamiento del suelo. **(Krynine y Judd, 1957).**

2.2.2. Estudio Geotécnico para presas

Es el proceso de estudio y la justificación técnica del comportamiento del terreno en relación con un proyecto de edificación específico. Así mismo permite obtener la geología (los tipos de suelo encontrados), el nivel piezométrico (el nivel de agua en el lugar) y las características mecánicas iniciales del suelo.

2.2.3. Estudio Geológico para presas

Un estudio geológico para presas es un proceso integral de investigación y evaluación geológica que se lleva a cabo antes de la construcción de una presa o embalse. El propósito principal de este estudio es comprender la geología, la hidrogeología y las condiciones geotécnicas del sitio donde se planea construir la presa.

2.2.4. Ingeniería Geotécnica

La ingeniería geotécnica es la rama de la ingeniería civil que enfoca su estudio en las propiedades mecánicas e hidráulicas de suelos y rocas, tanto en superficie como en el subsuelo, incluyendo la aplicación de los principios de la mecánica de suelos y

mecánica de rocas en el diseño de los cimientos, estructuras de contención y las estructuras de tierra **(Vallejo, 2004)**.

2.2.5. Ingeniería Geológica

El desarrollo de las técnicas como la mecánica de rocas y mecánica de suelos configuraron los principios de la moderna geotecnia, dentro de la cual, la Ingeniería Geológica representa la visión más geológica a la solución de los problemas Constructivos. La importancia de la ingeniería geológica se manifiesta en dos grandes campos: El terreno y los Riesgos geológicos y ambiente. **(Mantilla, 2011)**.

2.2.6. Geotecnia

Es la aplicación de métodos científicos y principios en ingeniería para la adquisición, interpretación y uso del conocimiento de los materiales de la corteza terrestre y los materiales de la tierra para la solución de problemas de ingeniería y el diseño de obras de ingeniería. Es la ciencia aplicada de predecir el comportamiento de la tierra, sus diversos materiales y procesos para hacer que la tierra sea más adecuada para las actividades humanas y el desarrollo **(Bates y Jackson, 1980)**.

2.2.7. Presa

En ingeniería se denomina presa o represa a una barrera fabricada de piedra, hormigón o materiales sueltos. Tiene la finalidad de embalsar el agua en el cauce fluvial para elevar su nivel con el objetivo de derivarla, mediante canalizaciones de riego, para su aprovechamiento en abastecimiento o regadío, laminación de avenidas (evitar inundaciones aguas abajo de la presa).

2.2.8. Mecánica de Rocas

La mecánica de rocas se ocupa del estudio teórico y práctico de las propiedades y comportamiento mecánico de los materiales rocosos y de sus respuestas ante la acción de las fuerzas aplicadas en su entorno físico. Las clasificaciones más útiles en mecánica de rocas son las denominadas clasificaciones geomecánicas RMR de Bieniawski (1979) y el índice Q de Barton (1974).

2.2.9. Mecánica de Suelos

La mecánica de suelos es la aplicación de las leyes de la mecánica y la hidráulica a los problemas de ingeniería que tratan con sedimentos y otras acumulaciones no consolidadas de partículas sólidas, producidas por la desintegración mecánica o descomposición química de las rocas, independientemente de que tenga o no materia orgánica. **(Karl Terzaghi 1938).**

2.2.10. Prospección Geofísica

La prospección geofísica es la medición y registro de anomalías físicas naturales o inducidas, mediante métodos físicos para desarrollar una interpretación de la estructura y contenido de la Tierra. **(Sheriff y Geldart, 1995).**

2.3. MARCO TEORICO

2.3.1. Ensayos de Mecánica de Suelos

Con el propósito de conseguir los objetivos indicados que se realizan en el reconocimiento geotécnico de un terreno, los ensayos de laboratorio más comunes son:

a) Análisis Granulométrico (ASTM D-422)

Según se indica en la norma (ASTM-D-422), el ensayo consiste fundamentalmente en separar el material mediante una serie de tamices en varias fracciones granulométricas de tamaño decreciente. La metodología se basa en un lavado del árido y un posterior tamizado vía seca, después de todo esto la cantidad de las partículas que han quedado retenidas en los diferentes tamices suele expresarse respecto a la masa inicial del material.

$$\% R_i = \frac{W_{r,i}}{W_T} \times 100$$

b) Contenido de Humedad (ASTM D-2216)

Este método de ensayo cubre la determinación en laboratorio del contenido de humedad por masa de suelo, roca y materiales similares donde la reducción en masa por secado se debe a la pérdida de agua. El contenido de agua de un suelo conjuntamente con el límite líquido y plástico determinado con el método de ensayo ASTM D-854 (Gravedad específica), es utilizado para expresar su consistencia relativa o índice líquido.

$$w(\%) = \frac{W_{húmeda} - W_{seca}}{W_{seca}} \times 100$$

c) Material que pasa Malla N°200 (ASTM C-117)

La norma ASTM C-117 es una especificación estándar emitida por ASTM International, una organización que desarrolla normas técnicas para diversos materiales, productos y servicios. La norma se refiere a los métodos de prueba para determinar la granulometría de los agregados utilizados en la construcción, es decir, evalúa el tamaño de partículas de los materiales pétreos como la grava, la arena o la piedra triturada que se emplean en mezclas de concreto, asfalto u otros materiales de construcción.

$$\% \text{ Finos} = \frac{W_{\text{inicial}} - W_{\text{lavado}}}{W_{\text{inicial}}} \times 100$$

d) Límites de Consistencia (ASTM D-4318)

El método de prueba determina la resistencia a la compresión no confinada de suelos cohesivos mediante la aplicación de cargas uniaxiales a muestras intactas. El límite líquido, el límite plástico y el índice de plasticidad de los suelos también se utilizan ampliamente, ya sea individualmente o en conjunto, con otras propiedades del suelo para correlacionar con el comportamiento de ingeniería, tales como la compresibilidad, la conductividad hidráulica (permeabilidad), la compactibilidad, la contracción y el hundimiento, y la resistencia al corte.

$$PI = LL - PL$$

$$LI = \frac{w - PL}{LL - PL} = \frac{w - PL}{PI}$$

$$IC = \frac{LL - w}{PI} = 1 - LI$$

e) Peso unitario (ASTM C-29)

Se describe los procedimientos para realizar pruebas de densidad, peso unitario y contenido de agua del suelo y agregados gruesos (grava y piedra triturada) mediante el método de inmersión en agua.

f) Peso Específico y Absorción – agregado grueso (ASTM C-127)

En este método de ensayo se determina la densidad promedio de una cantidad de partículas de agregado grueso, la densidad relativa (gravedad específica), y la absorción del agregado grueso. Así mismo se determina la densidad de la porción esencialmente sólida de un número grande de partículas de agregados y proporciona un valor promedio representativo de la muestra.

$$G_{app} = \frac{W_{seca}}{W_{seca} - W_{sub}} \qquad Abs(\%) = \frac{W_{ssd} - W_{seca}}{W_{seca}} \times 100$$

g) Partículas Chatas y Alargadas (ASTM D-4791)

Este método de ensayo determina los porcentajes de partículas planas, partículas alargadas o partículas planas y alargadas en agregados gruesos. En esta norma existen dos procedimientos, el método A y el método B. El método A es un reflejo del procedimiento original desarrollado antes de Superpave y está diseñado para todas las aplicaciones que no son Superpave. El método B es una comparación de la dimensión máxima de partícula con la dimensión mínima de partícula y está diseñado para usarse con las especificaciones Superpave.

$$\%(chatas) = \frac{W_{fa}}{W_T} \times 100$$

h) Abrasión de los Ángeles (ASTM C-131)

Este método de ensayo describe un procedimiento para ensayar tamaños de áridos gruesos menores a los 37.5mm (1 ½ pulg) para la resistencia a la degradación utilizando la máquina de ensayo Los Angeles. Este método de ensayo es una medida de la degradación de los áridos minerales de granulometría estándar. Estos resultados provienen de una combinación de acciones como abrasión o desgaste, impacto &

trituration, efectuadas en un tambor de acero que contiene un número especificado de esferas de acero. El número de esferas depende de la granulometría de la muestra de ensayo.

$$\% \text{ pérdida} = \frac{W_{\text{inicial}} - W_{\text{final}}}{W_{\text{inicial}}} \times 100$$

i) Equivalente de arena (ASTM D-2419)

Se varilla un volumen medido de suelo o agregado fino con una pequeña cantidad de solución floculante en una probeta graduada y agitados con la finalidad de desprender la capa de arcilla de las partículas de arena en el espécimen de prueba, Se irriga entonces el espécimen usando solución adicional para forzar que el material arcilloso entre en suspensión sobre la arena. Después de un periodo de sedimentación prescrito, se lee la altura de la arcilla floculada y se determina la altura de la arena en la probeta.

$$SE = \frac{h_s}{h_c} \times 100$$

j) Ensayo de durabilidad (MTC E-209)

Este ensayo es una medida a la desintegración de los agregados grueso y fino promedio de soluciones saturadas de sulfato de sodio o sulfato de magnesio, durante no menos de 16h ni más de 18h, de una manera tal que la soluciones cubra toda la muestra. Después del período de inmersión se saca la muestra de agregado de la solución y se coloca en el horno de secar. Se repite el proceso alternado de inmersión y secado hasta que se obtenga el número de ciclos requeridos.

2.3.2. Sistema Unificado de Clasificación del Suelo (SUCS)

Esta norma técnica es para clasificar cualquier tipo de suelo, para poder realizar esta clasificación, necesitamos haber realizado los ensayos correspondientes de Análisis Granulométrico y de Límites de Consistencia para su respectiva clasificación del tipo de suelo que se está realizando. Este sistema clasifica a los suelos en dos amplias categorías:

Suelos de Granulado-grueso que en la naturaleza son gravosos y arenosos con menos del 50 % que pasa a través del tamiz N°200. Los símbolos de grupo comienzan con los prefijos G o S o ambos, G simboliza suelo con grava o gravoso, y S es para suelos con arena o arenosos

Suelos de Granulado-fino con 50% o más que pasas a través del tamiz N°200. Los símbolos de grupo comienzan con el prefijo de M, el cual simboliza a limos inorgánicos, C para arcillas inorgánicas, y O para limos y arcillas orgánicos. EL símbolo Pt es usado para la turba (peat), fango (muck), y otros suelos altamente orgánicos.

Otros símbolos usados por la clasificación son:

W -> bien gradado (well graded)

P -> pobremente gradado (poorly graded)

L -> baja plasticidad (limite liquido menos a 50)

H -> alta plasticidad (limite liquido mayor a 50)

2.3.3. Mecánica de Rocas

El estudio de la mecánica de rocas abarca la exploración teórica y práctica de las características mecánicas y las reacciones de varios componentes de una roca ante fuerzas externas.

Las clasificaciones geomecánicas constituyen un procedimiento para la caracterización de los macizos rocosos a partir de datos de afloramientos y sondeos, se aplican principalmente en los túneles, dado la dificultad del estudio de los macizos rocosos en profundidad. Pero igualmente se aplica a la caracterización de los macizos en forma general, como medio para clasificar geotécnicamente las rocas. El cálculo del índice RMR permite estimar los parámetros de resistencia y deformabilidad del macizo (a partir de correlaciones empíricas).

Rock Mass Rating (RMR)

Sistema de clasificación para determinar la calidad del macizo rocoso, desarrollado por Bieniawski (1976), se divide la roca en dominios estructurales, es decir, en zonas delimitadas por discontinuidades geológicas dentro de las cuales la estructura es prácticamente homogénea. La estructura del macizo comprende el conjunto de fallas, diaclasas, pliegues y demás características geológicas propias de una determinada región.

El parámetro que define la clasificación es el denominado índice RMR (Rock Mass Rating), que evalúa la calidad del macizo rocoso a partir de cinco parámetros siguientes:

- Resistencia de la roca intacta-Rock
- Quality Designation o RQD
- Espaciado de las discontinuidades
- Condición de las discontinuidades

Tabla 4

Puntaje de resistencia. Puntaje RMR para resistencia a la compresión simple.

Resistencia (Mpa)	Puntaje RMR	Resistencia
< 1	0	Muy Baja
1 a 5	1	
5 a 25	2	
25 a 50	4	Baja
50 a 100	7	Moderada
100 a 250	12	Alta
> 250	15	Muy Alta

Fuente: Bieniawski (1979)

Tabla 5

Puntaje RQD y RMR para calidades de macizos rocosos asociadas al RQD.

Calidad del macizo rocoso asociada al RQD	%RQD	Puntaje RMR
Muy Mala	< 25	3
Mala	25 a 50	8
Regular	50 a 75	13
Buena	75 a 90	17
Excelente	90 a 100	20

Fuente: Bieniawski (1979)

Tabla 6

Puntaje de espaciamiento. Puntajes RMR para espaciamiento de estructuras "S"

Descripción del espaciamiento	S (mm)	Puntaje RMR
Muy junto o extremadamente junto	< 60	5
Junto	60 a 200	8
Moderado	200 a 600	10
Separado	600 a 2.000	15
Muy separado	> 2.000	20

Fuente: Bieniawski (1979)

Tabla 7

Puntaje de condición de estructuras. Puntajes RMR para condición de estructuras "Jc".

Condición de las estructuras (JC)	Puntaje RMR
Estructuras continuas, abiertas (>5 mm) o con rellenos blandos de salbanda arcillosa (>5 mm)	0
Estructuras continuas, pulidas o abiertas (1 a 5 mm) o con rellenos blandos de salbanda arcillosa (1 a 5 mm)	10
Estructuras algo rugosas, roca de caja muy alterada, estructuras abiertas (<1 mm) o con rellenos (<1 mm)	20
Estructuras algo rugosas, roca de caja algo alterada, estructuras abiertas (<1 mm) o con rellenos (<1 mm)	25
Estructuras muy rugosas, discontinuas, roca de caja fresca o sana, estructuras cerradas o selladas	30

Fuente: Bieniawski (1979)

Tabla 8

Puntaje de condición de agua. Puntaje RMR para la condición de agua "Wc".

Condición de aguas (Wc)	Puntaje RMR
Completamente Seca	15
Húmeda	10
Mojada	7
Goteos	4
Infiltraciones de Agua	0

Fuente: Bieniawski (1979)

Índice de calidad de la roca (RQD)

Fue desarrollado por Deere en 1967 para estimar cuantitativamente la calidad del macizo rocoso, a través del análisis de testigos de sondaje.

Se define como el porcentaje de la sumatoria de todos los tramos de testigo que superan los 10 cm de largo (sobre el eje central de la roca), dividido por la longitud total que se está perforando. **(González de Vallejos y otros (2002)).**

El cálculo del RQD se obtiene, a partir de medidas de terreno mientras se realizan las perforaciones durante la campaña de sondajes, de esta manera se evita que se generen fracturas inducidas manualmente mientras son manipuladas y transportadas a los lugares destinados para el almacenaje de las muestras. González de Vallejos y otros (2002), clasifica el macizo rocoso en diferentes grados de calidad de la roca, dependiendo de la medida y obtención del parámetro RQD.

Tabla 9

Clasificación del RQD. Clasificación de la calidad del macizo rocoso según el índice RQD.

RQD %	Calidad
< 25	Muy mala
25 – 50	Mala
50 – 75	Media
75 – 90	Buena
90 – 100	Muy buena

Fuente: Deere 1964

Ensayos de Permeabilidad

Ensayo Lefranc

El ensayo Lefranc es un tipo de ensayo in situ que permite determinar la permeabilidad de los suelos en el interior de sondeos, ya sea durante la ejecución del mismo o una vez ya finalizada la perforación. Están especialmente indicados para determinar el coeficiente de permeabilidad de suelos permeables o semipermeables como suelos arenosos, limosos o rocas muy fracturadas por debajo del nivel freático.

Existen dos tipos de ensayos de permeabilidad tipo Lefranc:

Carga Constante

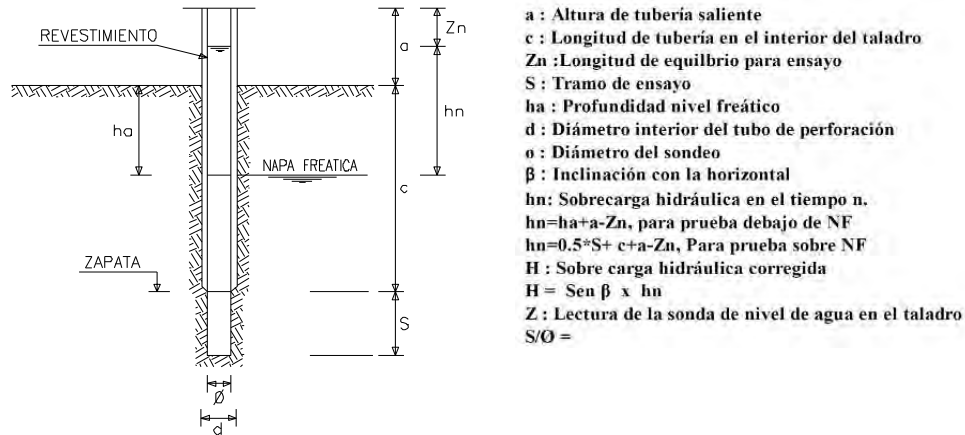
Estas pruebas reciben este nombre porque durante toda la ejecución del ensayo se mantiene un nivel constante de agua en la boca del sondaje y se toman lecturas del caudalímetro en un lapso de un minuto durante 10 o 15 minutos. Los valores obtenidos se promedian con los datos de profundidad y diámetros de perforación para el cálculo de la permeabilidad.

Carga Variable

Esta prueba utiliza los mismos criterios del ensayo de carga constante, después de alcanzado un nivel constante dentro del revestimiento, se corta el suministro de agua y se empieza a medir el descenso del agua en la tubería obteniendo valores cada 1 minuto durante 15 o 20 min.

Figura 1

Esquema de instalación del ensayo de permeabilidad de tipo Lefranc



Fuente: Hidrogeología FISCH

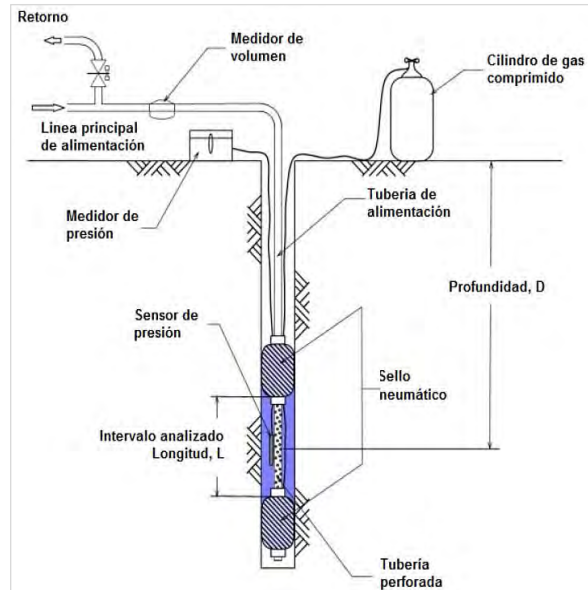
Ensayo Lugeon

El ensayo Lugeon es el ensayo de permeabilidad para macizos rocosos, se realiza en el interior de sondeos geotécnicos y permite calcular de forma más o menos cuantitativa la permeabilidad in situ de un macizo rocoso fracturado.

Se aplica principalmente en rocas fracturadas y consiste en medir el volumen del agua " V " que se consigue al inyectar en el suelo durante un tiempo determinado " t ", en otras palabras, se mide el caudal Q, en un tramo de una longitud determinada " L ", a una presión constante Ht.

Figura 2

Esquema de instalación del ensayo de permeabilidad de tipo Lugeon



Fuente: Lugeon Test Book

2.3.4. Prospección Geofísica

I. Métodos Eléctricos

Se basan en el estudio de los materiales del subsuelo en función de su comportamiento eléctrico, concretamente en función de su diferente resistividad.

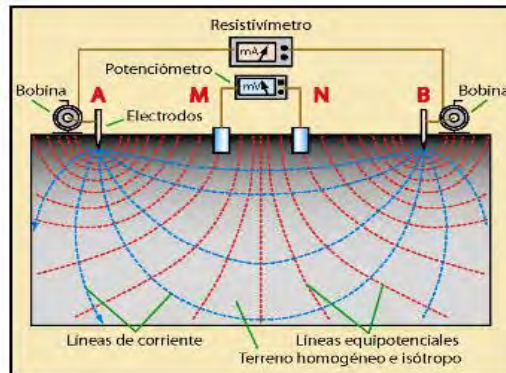
a) Sondeo Eléctrico Vertical

Los Sondeos Eléctricos Verticales corresponden a una serie de medidas realizadas alrededor de un punto, en donde se aplica corriente eléctrica a cierta distancia para obtener lecturas de resistividad. Estas diferentes medidas que se van realizando, permiten crear una curva que luego de analizada, se interpreta para identificar las profundidades a las cuales se puede encontrar el objetivo de exploración. Este método

permite identificar zonas con potencial de agua subterránea e intercalaciones de sedimentos.

Figura 3

Dispositivo Geoeléctrico (Tomado de Martínez, P. 2006)



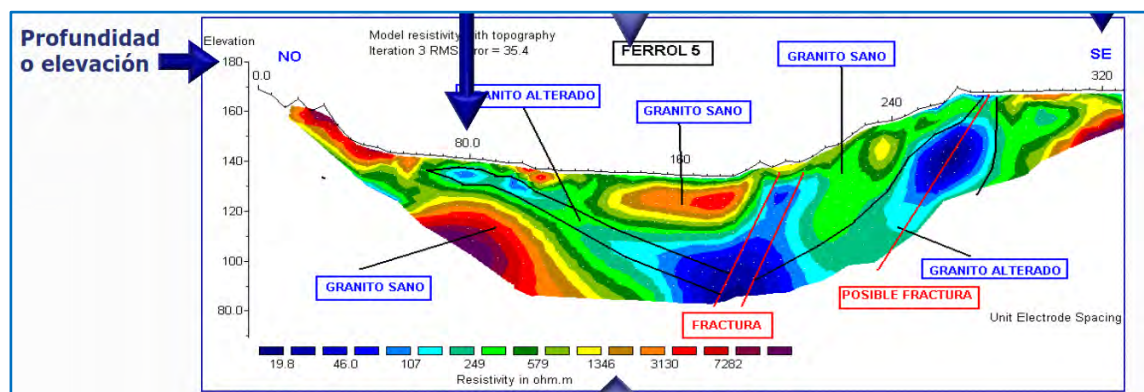
Fuente: Martínez P, 2006

b) Tomografía Eléctrica (TE)

Las Tomografías Eléctricas (TE) son métodos geofísicos para generar secciones o perfiles del subsuelo en base a mediciones de caída de potencial eléctrico. Los estudios de Tomografía Eléctrica han sido utilizados en investigaciones sobre hidrogeología, geotecnia y también actualmente en estudios ambientales.

Figura 4

Modelo de perfil de Tomografía Eléctrica Resistiva



Fuente: Software ZondRes2D

II. Métodos Sísmicos

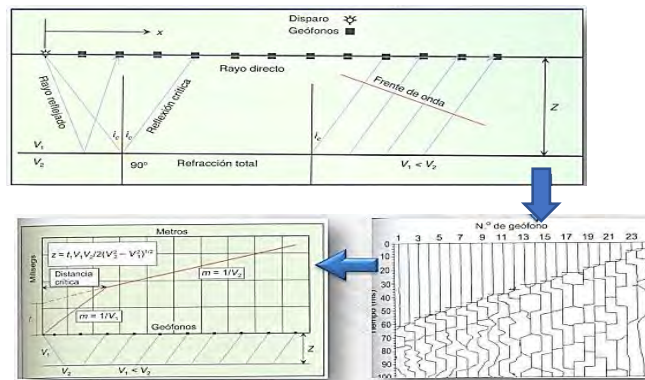
Se basan en el estudio de los materiales del subsuelo en función de su comportamiento ante el paso de las ondas sísmicas.

a) Sísmica de Refracción (Refracción Sísmica)

El ensayo de refracción sísmica es un método de exploración geofísica que permite determinar la estratigrafía del subsuelo en forma indirecta, basándose en el cambio de las propiedades dinámicas de los materiales que lo conforman. Este método consiste en la medición de los tiempos de viaje de las ondas de compresión (Ondas P) generadas por una fuente de energía impulsiva a unos puntos localizados a distancias predeterminadas a lo largo de un eje sobre la superficie del terreno.

Figura 5

Modelo de Sísmica de Refracción



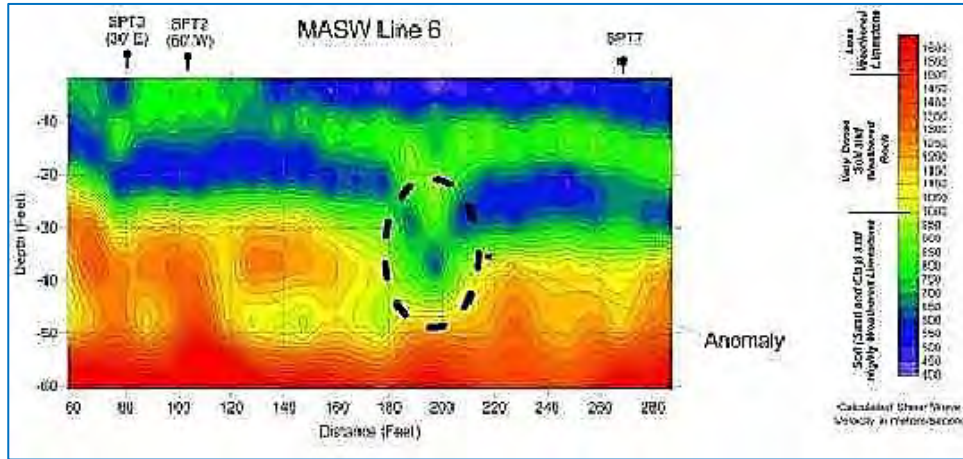
b) Método de Análisis multicanal de onda de superficie (MASW)

EL método de análisis multicanal de ondas superficiales (MASW) es un técnica activa y pasiva de gran versatilidad en la etapa de adquisición, que proporciona uno de los parámetros más importantes en los estudios geotécnicos. Con este tipo de ensayo se puede obtener mayor detalle y resolución de la estratigrafía del suelo a lo largo del

tendido sísmico lo cual en el caso de encontrar suelos con manto rocoso superficial (<30metros) permite conocer el relieve de la roca en forma precisa.

Figura 6

Muestra de datos MASW



Fuente: SoftwareParkSEIS

CAPITULO III: GEOMORFOLOGIA

La geomorfología de la zona comprende una fisiografía variada y accidentada, dados por la tectónica activa de los andes y la actividad de los agentes modeladores que han generado la cadena de montañas.

3.1. GEOMORFOLOGIA REGIONAL

Para la caracterización de las unidades geomorfológicas de la zona de estudio, se consideran criterios de control como: la homogeneidad litológica y la caracterización conceptual en base a aspectos del relieve en relación a la erosión o denudación y sedimentación o acumulación. Las geoformas particulares individualizadas se agrupan en tres tipos generales del relieve en función a su altura relativa, donde se diferencian: montañas, piedemontes y planicies.

A. Montaña modelada en roca sedimentaria

Se caracteriza por presentar fuertes pendientes (entre 30° a 45°) y un recubrimiento de material entre coluvial y morrénico. Un ejemplo es el cerro Chuyllurpata, cuyas laderas están estructuralmente plegadas, y forman anticlinales y sinclinales con pendientes abruptas, un aprecia en el eje derecho de la presa. (De la Cruz Bustamante, 1995; Gutiérrez Elorza, 2008; Benn & Evans, 2014)

B. Montaña modelada en roca ígnea intrusiva

Corresponde a los batolitos granodioríticos que luego de la erosión presentan laderas subredondeadas a convexas. Estas montañas están cortadas por valles abruptos, se ve influenciado en el eje izquierdo de la presa. (De la Cruz Bustamante, 1995)

C. Valle Glaciar

Caracterizado por su forma en "U" y por la acumulación de morrenas. En general, se presenta con pendientes moderadas (35° a 40°), con una fuerte erosión glaciar en profundidad y con lagunas de diferentes dimensiones. En la actualidad, se observan vestigios del periodo glaciar que llegaron a formar este tipo de valle. (Benn & Evans, 2014; Clapperton, 1993; Gutiérrez Elorza, 2008)

D. Vertiente de detritos y coluvio-deluviales

Son acumulaciones heterogéneas de fragmentos rocosos que se ubican en las laderas de cerros, por acción de la gravedad en combinación con el agua. Agrupa a los flujos y avalanchas de detritos y rocas, así como a los desprendimientos de rocas. (De la Cruz Bustamante, 1995)

E. Vertiente o Pie de Monte Aluvio - Lacustre

Esta unidad corresponde a una planicie con pendiente suave, está formada por material de acarreo del material aluvial o arrastrado por corrientes de agua estacional, en ocasiones se presenta como flujos y avalanchas de detritos.

Se encuentran en las desembocaduras de la quebrada. La pendiente del terreno de la unidad geomorfológica esta entre 1° a 5°. (De la Cruz Bustamante, 1995)

F. Morrena

Forma de relieve generada por la sedimentación glaciar. El material que constituye la morrena se denomina till y es heterométrico y no clasificado. Cuando está litificado se le llama tillita. Puede ser lateral y frontal (depositada por el avance de los glaciares) o de fondo, generada por la ablación del glaciar. Se puede encontrar en el vaso de la presa

con potencias no mayores a 50cm. (De la Cruz Bustamante, 1995; Gutiérrez Elorza, 2008)

G. Depósitos glacio – fluviales

Estos depósitos se ubican en el fondo de los valles glaciares, están compuestos principalmente por gravas subangulosas a subredondeadas con clastos de intrusivos, areniscas, calizas y lutitas en una matriz arcillosa, Claro ejemplo que en todo el vaso de la presa se puede ubicar. (De la Cruz Bustamante, 1995)

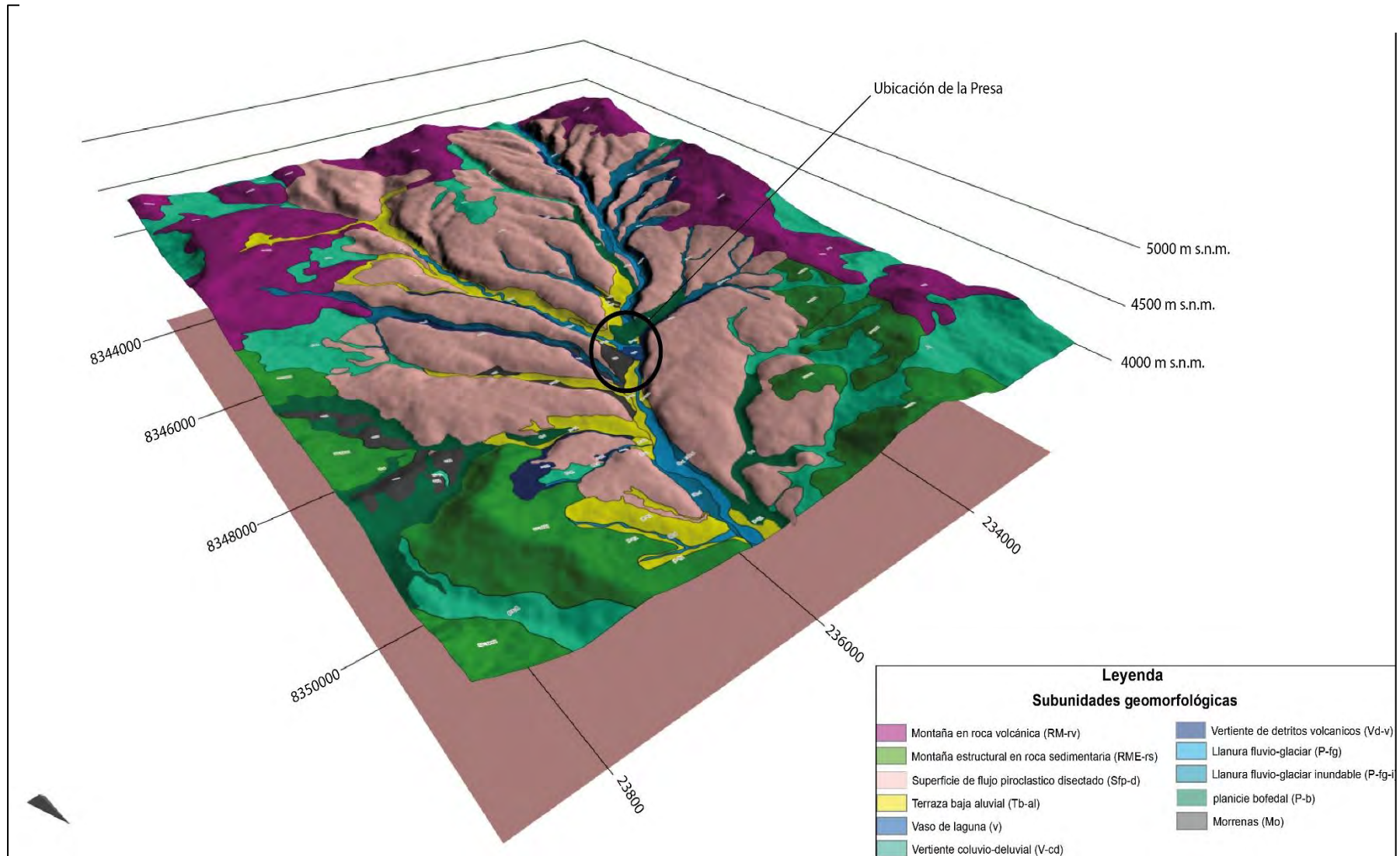
3.2. GEOMORFOLOGÍA LOCAL

El proyecto Presa Huayllumayo se encuentra ubicado en un entorno caracterizado por una compleja geomorfología dominada por geoformas de origen volcánico. Entre estas destacan las coladas piroclásticas que, al consolidarse, han modelado el relieve formando un valle de notable amplitud. Este paisaje volcánico se encuentra rodeado por geoformas agradacionales, como terrazas aluviales, y degradacionales, como taludes y laderas erosionadas, que reflejan la interacción entre procesos volcánicos pasados y dinámicas actuales de erosión y sedimentación. La combinación de estas características hace del área un entorno de gran interés geológico y geomorfológico, con implicancias significativas para el diseño y estabilidad de la presa.

GEOFORMAS DE CARÁCTER TECTÓNICO DEGRADACIONAL Y EROSIONAL

Están representadas por las formas de terreno resultados del efecto progresivo de procesos morfodinámicos degradacionales sobre los relieves iniciales (Villota, 2005). El promedio de subunidades geomorfológicas en el área de inspección se muestra en la figura siguiente.

Mapa 2 Mapa Geomorfológico local del área de estudio



A. Montaña en roca volcánica (RM-rv)

Estas presentan una geomorfología característica de sistemas volcánicos erosionados, con cumbres agudas y pendientes pronunciadas que reflejan la resistencia variable de los materiales que las conforman. Estas geoformas están dominadas por lavas andesíticas masivas intercaladas con flujos piroclásticos y brechas volcánicas, producto de eventos eruptivos del Neógeno. Las lavas muestran texturas porfíricas con fenocristales de plagioclasa, piroxeno y hornblenda, en una matriz microlítica, mientras que las brechas y tobas aportan sectores más heterogéneos y de menor cohesión. Geomorfológicamente, estas montañas suelen estar disectadas por profundas quebradas y cañones generados por la erosión fluvial, con taludes abruptos y áreas de acumulación coluvial en las bases. Desde el punto de vista geotécnico, las lavas compactas del Grupo Tacaza ofrecen alta resistencia y baja permeabilidad, ideales para cimentaciones en sectores no fracturados, pero los contactos entre flujos, fracturas y zonas de alteración hidrotermal representan puntos de debilidad donde pueden ocurrir deslizamientos o infiltraciones. La variabilidad litológica y estructural requiere estudios detallados para cualquier obra en estas montañas.

B. Montaña estructural en roca sedimentaria (RME-rs)

Conformadas por pliegues anticlinales de la Formación Arcurquina, destacan por su geomorfología robusta, con crestas alargadas y pendientes pronunciadas que siguen la traza estructural del anticlinal. Estas montañas están dominadas por calizas grises masivas de composición carbonática, depositadas en ambientes marinos someros durante el Cretácico inferior. Las calizas presentan una estratificación bien definida, a menudo plegada y fracturada debido a la deformación tectónica que generó las

estructuras anticlinales. Litológicamente, son rocas compactas, con alta resistencia a la compresión y baja permeabilidad en estado intacto, aunque las fracturas y diaclasas inducidas por esfuerzos tectónicos pueden aumentar localmente la infiltración.

Geomorfológicamente, los flancos del anticlinal muestran escarpes abruptos donde las capas más resistentes están expuestas, mientras que las zonas de menor resistencia o alteración (como intercalaciones margosas) generan áreas más erosionadas o depresiones locales. Los valles sinclinales adyacentes concentran los drenajes que erosionan las montañas, mientras que los picos y crestas coinciden con los núcleos de las capas más resistentes del anticlinal. Geotécnicamente, estas montañas son favorables para cimentaciones en sectores intactos, pero se deben evaluar los efectos de fracturamiento, carstificación potencial y estabilidad de taludes en pendientes abruptas o zonas con intercalaciones de menor cohesión. La presencia de sistemas kársticos y grietas puede influir en la permeabilidad y estabilidad, especialmente en proyectos relacionados con almacenamiento de agua o estructuras de gran peso.

C. Superficie de flujo piroclástico disectado (Sfp-d)

Conformada por tobas de cristal del Grupo Barroso es una geoforma prominente que presenta cimas angulosas y pendientes escarpadas, típicas de terrenos volcánicos altamente erosionados. Estas montañas se formaron por afloramientos masivos de tobas de cristal, producto de coladas piroclásticas extensas, posteriormente disectadas por procesos de erosión fluvial y gravitacional. Litológicamente, las tobas son de composición dacítica a riolítica, con una matriz vítrea de textura porfírica que contiene cristales de cuarzo, feldespato y biotita. Geomorfológicamente, las estructuras muestran una disposición de coladas inclinadas y fracturadas, interrumpidas por profundas quebradas

y cañones formados por la acción prolongada del agua. Las zonas densamente soldadas son más resistentes y forman crestas rocosas prominentes, mientras que las áreas menos soldadas o alteradas presentan mayor susceptibilidad a la meteorización y generan acumulaciones de taludes en las laderas. Desde el punto de vista geotécnico, estas montañas combinan alta resistencia en las zonas intactas, ideales para cimentaciones, con riesgos locales en sectores de fracturamiento, donde la permeabilidad aumenta y la estabilidad puede verse comprometida, especialmente en pendientes pronunciadas.

GEOFORMAS DE CARÁCTER DEPOSITACIONAL Y AGRADACIONAL

Están representadas por formas de terreno resultados de la acumulación de materiales provenientes de los procesos denudativos y erosionales que afectan las geoformas anteriores, aquí se tienen:

A. Terraza baja aluvial (Tb-al)

Son geoformas planas o suavemente inclinadas, localizadas a lo largo de los márgenes del río principal, a una altura cercana al nivel actual del cauce. Estas terrazas representan antiguos niveles de depósito aluvial que han quedado inactivos tras el encajonamiento progresivo del río. Geomorfológicamente, se caracterizan por su configuración escalonada en relación con las terrazas más altas y el valle adyacente, siendo las de menor elevación las más jóvenes y cercanas al flujo activo.

Están formadas por depósitos de gravas, arenas y limos bien estratificados, que evidencian procesos de sedimentación fluvial en ambientes de baja energía. Su superficie es generalmente lisa, con vegetación moderada, e incluyen microrelieves

asociados a antiguos canales, meandros abandonados o pequeños humedales. Estas terrazas son altamente susceptibles a inundaciones durante crecidas significativas del río, lo que debe ser considerado en cualquier uso del terreno. La estabilidad geotécnica de las terrazas depende de la consolidación y granulometría de los materiales, siendo los sectores con predominancia de arenas y limos más vulnerables a la erosión y los asentamientos.

B. Vaso de la laguna (v)

El vaso de la laguna Huayllumayo es una depresión natural formada por procesos tectónicos y glaciales, ubicada en una región montañosa de alta pendiente. Geomorfológicamente, el vaso se caracteriza por un relieve cerrado que actúa como cuenca de captación, con bordes irregulares delimitados por afloramientos rocosos volcánicos y depósitos glaciares que sellan el fondo de la laguna. La morfología del vaso es típicamente elíptica, con pendientes escarpadas en sus márgenes superiores y una base suavemente inclinada, compuesta por sedimentos finos acumulados por procesos de decantación y aporte fluvial-glaciar.

El material que conforma el fondo del vaso incluye limos y arcillas lacustres, que tienden a ser impermeables, lo que favorece la retención del agua. En sus márgenes, es común encontrar depósitos coluviales y taludes inestables formados por bloques angulosos y detritos finos que descienden desde las laderas circundantes. Desde un punto de vista geotécnico, el vaso puede presentar sectores susceptibles a infiltraciones si existen fracturas en las rocas subyacentes o permeabilidad en los depósitos glaciares. Además, es necesario evaluar la estabilidad de las pendientes cercanas para prevenir deslizamientos que puedan afectar la dinámica de la laguna.

C. Vertiente coluvio-deluvial (v-cd)

Es una geoforma característica de zonas de alta pendiente, formada por la acumulación y movimiento de materiales sueltos que descienden desde las partes altas de las laderas debido a procesos combinados de gravedad y escorrentía superficial. Estas vertientes presentan pendientes moderadas a fuertes, con una superficie irregular y depósitos mal clasificados, compuestos por una mezcla heterogénea de fragmentos angulosos a subangulosos de rocas volcánicas.

Geomorfológicamente, estas vertientes incluyen taludes en retroceso, canales incipientes y acumulaciones en forma de abanicos en la base. Desde un punto de vista geotécnico, los depósitos son poco consolidados y susceptibles a movimientos en masa, especialmente en condiciones de saturación por lluvias intensas. La estabilidad de estas vertientes depende de factores como la cohesión de la matriz fina, la pendiente del terreno y la presencia de vegetación que actúe como anclaje superficial.

D. Vertiente de detritos volcánicos (Vd-v)

Es una geoforma ubicada en zonas de pendiente moderada a alta, formada por acumulaciones de materiales volcánicos transportados por procesos gravitacionales y, en menor medida, por acción hídrica. Geomorfológicamente, estas vertientes se caracterizan por una superficie irregular, con acumulaciones caóticas de fragmentos de roca volcánica que varían en tamaño desde arenas gruesas hasta bloques métricos. Los clastos suelen ser angulosos a subangulosos, y su composición refleja la naturaleza del material fuente, como andesitas, tobas y brechas volcánicas.

La matriz de estos depósitos puede incluir cenizas, limos y arenas de origen piroclástico, lo que contribuye a su heterogeneidad. Las vertientes de detritos volcánicos

frecuentemente exhiben evidencia de movimientos en masa recientes, como flujos de detritos o deslizamientos superficiales, especialmente en sectores saturados por lluvias intensas o deshielo. Desde un punto de vista geotécnico, estos depósitos son generalmente poco consolidados, con baja cohesión y alta susceptibilidad a la erosión y los movimientos en masa, especialmente en pendientes pronunciadas o zonas fracturadas. La estabilidad de estas vertientes depende de factores como la granulometría, la pendiente, el contenido de humedad y la presencia de vegetación estabilizadora.

E. Llanura fluvio-glaciar inundable (P-fg-i)

Es una geoforma extensa y de baja pendiente, ubicada en áreas donde confluyen procesos fluviales y glaciales, formando un paisaje caracterizado por depósitos heterogéneos y dinámicos. Geomorfológicamente, se distingue por su superficie relativamente plana, interrumpida ocasionalmente por canales anastomosados, barras de sedimentos y pequeñas depresiones que pueden retener agua temporalmente. Estas llanuras se desarrollan en zonas de transición entre montañas glaciares y valles fluviales, donde los materiales transportados por corrientes de deshielo glaciar y ríos se depositan al disminuir la energía del flujo.

Los depósitos están compuestos predominantemente por gravas, arenas y limos mal clasificados, con clastos subangulosos a subredondeados, que reflejan un transporte de corta a mediana distancia. Durante eventos de inundación, las corrientes activas redistribuyen los sedimentos, formando capas delgadas que evidencian estratificación horizontal o cruzada.

Desde un punto de vista geotécnico, estas llanuras presentan suelos sueltos y mal consolidados, con alta permeabilidad en las gravas y arenas, pero también con zonas de mayor retención de agua en los sectores más finos. Debido a su naturaleza inundable, estas áreas son vulnerables a fluctuaciones hídricas y a asentamientos diferenciales, por lo que deben evaluarse cuidadosamente antes de planificar infraestructuras.

F. Planicie bofedal (P-b)

Es una geoforma plana o ligeramente inclinada, ubicada generalmente en zonas altoandinas, caracterizada por su capacidad para retener agua superficial y formar humedales de alta biodiversidad. Estas planicies se desarrollan en depresiones naturales o en áreas de baja pendiente donde se acumula agua de deshielo glaciar, precipitaciones o escorrentías. Geomorfológicamente, presentan un terreno saturado de agua, con una cobertura vegetal dominada por pastos húmedos, musgos y cojines vegetales, que contribuyen a la formación de turba en sus estratos inferiores.

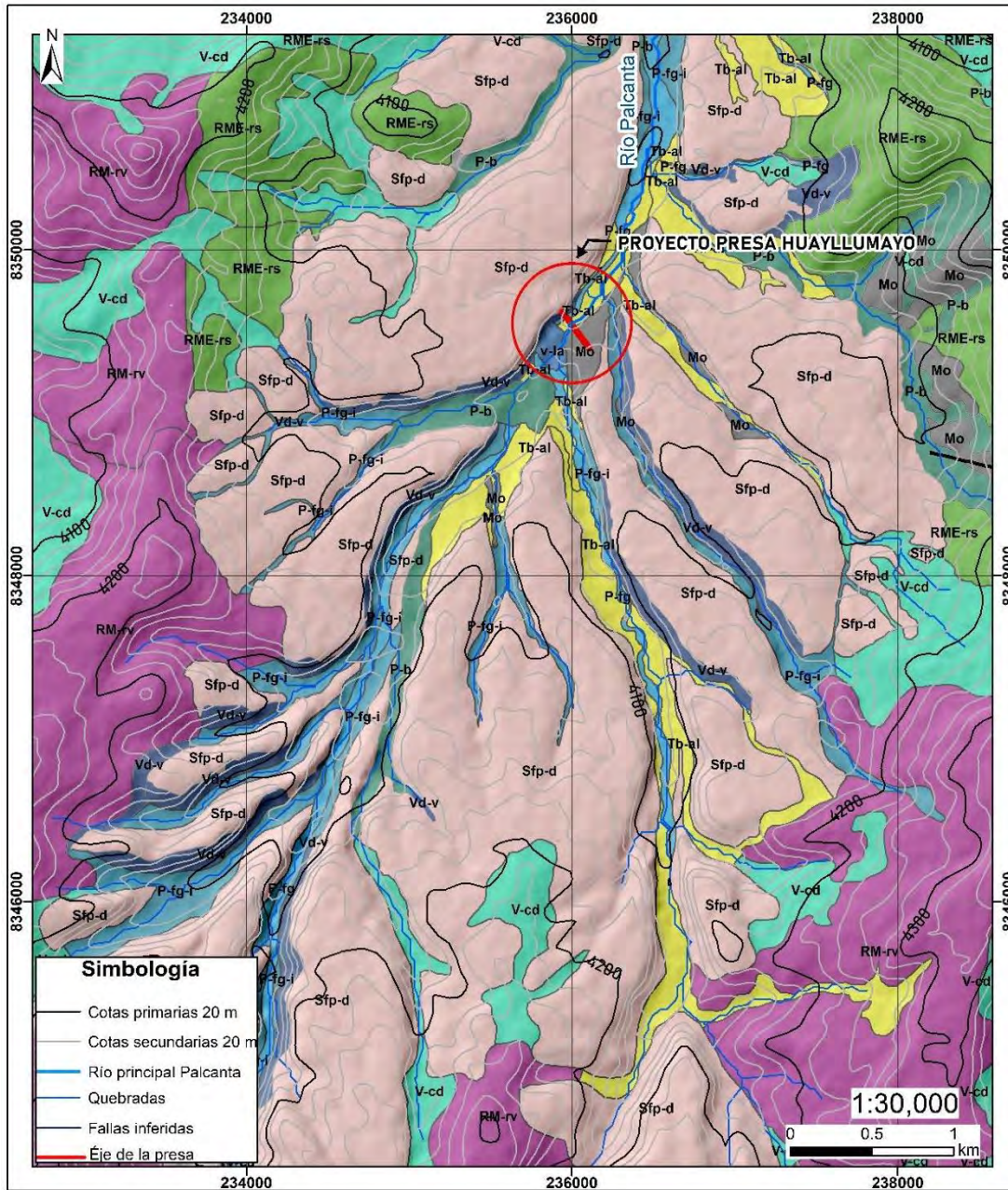
El sustrato litológico está compuesto por materiales finos como limos y arcillas, a menudo mezclados con materia orgánica en diferentes grados de descomposición. Estas características generan suelos blandos, altamente saturados, con baja capacidad portante y una permeabilidad variable que depende de la compactación de los sedimentos y del contenido orgánico. Geotécnicamente, las planicies bofedales presentan desafíos significativos para la construcción debido a su alta susceptibilidad al asentamiento, su baja resistencia al corte y la posible degradación del ecosistema asociado. Además, su rol como reservorios naturales de agua y reguladores del ciclo hidrológico subraya la importancia de preservar su funcionalidad ecológica.

G. Morrenas (Mo)

Geomorfológicamente, las morrenas crean paisajes accidentados y montañosos con depresiones, colinas y valles, que indican las variaciones en el avance y retroceso del glaciar a lo largo del tiempo. Los materiales que componen las morrenas están mal clasificados, con fragmentos de diferentes tamaños (bloques, gravas, arenas y arcillas) que no presentan una organización estratigráfica definida.

Geotécnicamente, las morrenas suelen tener una resistencia moderada a baja debido a la falta de consolidación y la heterogeneidad de los materiales. Sin embargo, las morrenas terminales, al estar más compactadas y cohesionadas, pueden ofrecer una base más firme para ciertas estructuras, mientras que las laterales y mediales, siendo menos consolidadas y más susceptibles a la erosión, representan un reto para la construcción.

Mapa 3 Mapa de Subunidades Geomorfológicas Regionales



Subunidades geomorfológicas	
Montaña en roca volcánica (RM-rv)	Vertiente de detritos volcanicos (Vd-v)
Montaña estructural en roca sedimentaria (RME-rs)	Llanura fluvio-glaciar (P-fg)
Superficie de flujo piroclastico disectado (Sfp-d)	Llanura fluvio-glaciar inundable (P-fg-i)
Terraza baja aluvial (Tb-al)	planicie bofedal (P-b)
Vaso de laguna (v)	Morrenas (Mo)
Vertiente coluvio-deluvial (V-cd)	

<p>UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAAD DEL CUSCO FACULTAD DE INGENIERIA GEOLOGICA, MINAS Y METALURGICA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA GEOLOGICA</p>		
<p>TEMA: EVALUACION GEOLÓGICA-GEOTÉCNICA DE FACTIBILIDAD PARA LA AMPLIACION DE LA PRESA HUAYLLUMAYO MEDIANTE LA CONSTRUCCION DE UN NUEVO EJE DE PRESA, DISTRITO Y PROVINCIA DE ESPINAR, DEPARTAMENTO DE CUSCO-2024</p>		
<p>MAPA: GEOMORFOLOGICO REGIONAL</p>		
UBICACION: DISTRITO: ESPINAR PROVINCIA: ESPINAR REGION: CUSCO PROYECCION: UTM - WGS 84 ESCALA: INDICADA	ASESOR: Elaborado por: Dr. Josefina Escatante Gutierrez B. ANGEL RODRIGO MOLLEHUANCA PABLO B. JESUS OUSPE CARDENAS	FECHA: 08/10/2024 MAPA: TES-02

3.3. PARAMETROS HIDROMORFOMETRICOS

Variable Superficial

Área (A). 143.60 km²

Variables Lineales

Perímetro (P). 75.52 km

Longitud total de cauce (Ltc). Es la sumatoria total de las longitudes de los ríos, la unidad de medida es en Km.

Ltc. 131.66 km

Longitud del cauce principal (Lcp). Es la distancia del cauce principal desde el rio receptor hasta su nacimiento cerca de la divisoria.

Lcp. 13.64 km – mediano

Tabla 10

Clases de valores de longitud de cauce principal

Rangos de longitud (km)	Clases de longitud de cauce
< 11	Corto
11– 15	Mediano
> 15	Largo

Fuente: Delgado, 2011

Longitud de cauces secundarios (Lcs). Es la sumatoria total de todos los ríos tributarios al rio principal. Lcs. 118.04 km

Longitud axial (La). Es la longitud en línea recta del eje mayor de la cuenca.

La. 30.04 km

Ancho medio (A_m). Es el promedio del ancho medido en varias secciones de la cuenca. También se ha definido como el cociente entre el área y longitud axial.

$$A_m = A / L_a \Rightarrow A_m = 4.78 \text{ km}$$

Orden de la corriente (O_c). Se obtiene mediante la agregación de corrientes, considerando una corriente de primer orden a aquella que no tiene afluentes, una de segundo orden aquella donde se unen dos corrientes de primer orden, una de tercero donde confluyen dos de segundo orden y así sucesivamente.

Este índice indica el grado de estructura de la red de drenaje. En general, mientras mayor sea el grado de corriente, mayor será la red y su estructura más definida.

Tabla 11

Clases de orden de corriente

Rango de ordenes	Clases de orden
< 3	Bajo
3 – 6	Medio
> 6	Alto

Fuente: Delgado, 2011

Variables de desnivel

Diferencia de desnivel de cauce (E_{cp}). Es la diferencia entre la altitud del punto más alto y más bajo del cauce.

$$\text{Punto más alto} = 4989 \text{ msnm}$$

$$\text{Punto más bajo} = 3875 \text{ msnm}$$

$$E_{cp} = 1.114 \text{ m}$$

Pendiente media del cauce principal (Sc). La pendiente del cauce se la puede estimar por diferentes métodos. Uno de ellos es el de los valores extremos, el cual consiste en determinar el desnivel H entre el punto más elevado y más bajo del río en estudio y luego dividirlo entre la longitud del mismo cauce.

H máx: cota máxima de la cuenca

H mín: cota mínima de la cuenca

L: longitud de cauce principal

$$Sc = \frac{H_{max} - H_{min}}{L} \times 100 = 25.95 \%$$

Tabla 12

Clase de valores de pendiente de cauce

Rango de Pendiente (%)	Clases
< 10	Suave
10 – 30	Moderada
> 30	Fuerte

Fuente: Delgado 2011

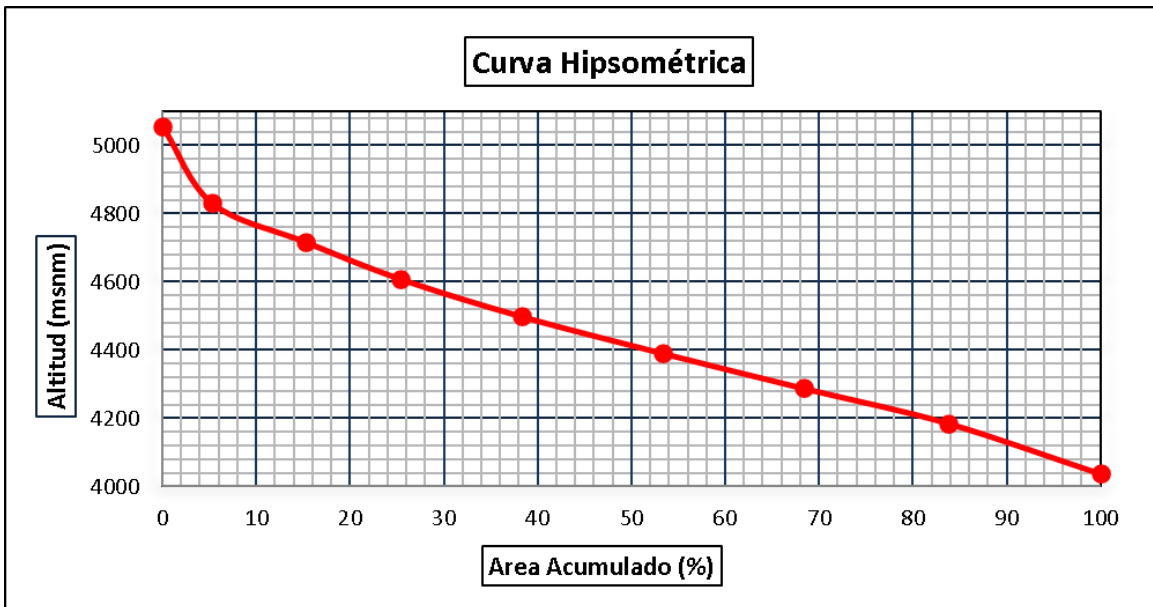
Curva Hipsométrica.

En términos simples, indica el porcentaje de área de la cuenca que existe por encima de cierta cota determinada.

Tabla 13

Tabla estadística para la curva hipsométrica

COTA			AREA		
MIN	MAX	PROMEDIO	AREA ENTRE CURVAS	ACUMULADO	% ACUMULADO
4038	4185	4111.5	0.00	122.64	100.00
4186	4287	4236.5	19.96	102.68	83.73
4288	4390	4339.0	18.80	83.88	68.40
4391	4498	4444.5	18.52	65.36	53.30
4499	4607	4553.0	18.41	46.95	38.28
4608	4716	4662.0	15.75	31.20	25.44
4717	4830	4773.5	12.50	18.70	15.25
4831	5055	4943.0	12.25	6.45	5.26
			6.45		



Coeficiente de Compacidad o de Gravelius (Kc)

Compara la forma de la cuenca con la de una circunferencia, cuyo círculo inscrito tiene la misma área de la cuenca en estudio. Se define como la razón entre el perímetro de la cuenca que es la misma longitud del parte aguas que la encierra y el perímetro de la circunferencia. Las cuencas que tienden a una forma circular, tienen mayor facilidad para concentrar la escorrentía, sin embargo, las cuencas alargadas presentan alta peligrosidad a las crecidas cuando la tormenta se mueve en la dirección aguas abajo (Delgado,2011).

$$Kc = 0.28\left(\frac{P}{\sqrt{A}}\right)$$

$$Kc = 1.78$$

Tabla 14

Clases de valores de compacidad

Rangos de K	Clases de compacidad
< 1.25	Redonda a oval redonda
1.25 – 1.50	De oval redonda a oval oblonga
1.50 – 1.70	De oval oblonga a rectangular oblonga

Fuente: Elaboración propia

PARAMETROS		UND	NOMENCLATURA	CUENCA HUAYLLUMAYO		
Superficie total de la cuenca		km ²	At	143.60		
Perímetro		km	P	75.52		
RELACIONES DE FORMA	FACTOR DE CUENCA	Coeficiente de Compacidad		s/U	$Kc = 0.28 P / (At)^{1/2}$	1.78
		FACTOR DE FORMA	Longitud (// al curso más largo)		Km	LB
	Ancho medio		Km	$AM = At / LB$	4.78	
	Factor de Forma		s/U	$Ff = AM / LB$	0.16	
	RECTANGULO EQUIVALENTE	Lado Mayor		Km	$L = Kc * (\pi * A)^{1/2} / 2 * (1 + (1 - 4 / \pi * Kc^2))$	33.47
		Lado Menor		Km	$B = At / L$	4.29
SISTEMA DE DRENAJE	GRADO DE RAMIFICACION (Longitud Total)		Km	Orden 1	81.53	
			Km	Orden 2	20.17	
			Km	Orden 3	16.31	
			Km	Orden 4	13.64	
			Km	Orden 5	0.00	
			Km	Orden 6	0.00	
	NUMEROS DE RIOS PARA LOS DIFERENTES GRADOS DE RAMIFICACIÓN		s/U	Orden 1	48.00	
			s/U	Orden 2	12.00	
			s/U	Orden 3	2.00	
			s/U	Orden 4	1.00	
			s/U	Orden 5	0.00	
			s/U	Orden 6	0.00	
	Longitud total de los ríos de diferentes grados		Km	Lt	131.66	
	Número de ríos según grados		s/U	N° Ríos	63.00	
	Longitud del río principal		Km	Lr	13.64	
	Densidad de drenaje		km/km ²	$Dd = Lt / At$	0.92	
Longitud de flujo de superficie		s/U	$Rb = 1 / (2 Dd(1 - Lc/lp)^{1/2})$	0.59		
Extensión media para los diferentes grados		Km	$Es = At / 4Lt$	0.27		
Frecuencia de los ríos		r/km ²	$Fr = N° Ríos / At$	0.44		
Desnivel total de la cuenca		Km	Ht	1.11		
Altura media de la cuenca		m.s.n.m.	Hm	4328.28		
Pendiente de la cuenca (Sist. del Rectangulo Equivalente)		%	$lp = 100 * Ht / B$	25.95		
Pendiente media de los cauces de los ríos		%	lm	3.71		

Fuente: Elaboración propia

CAPITULO IV: GEOLOGIA

4.1. GENERALIDADES

El presente estudio geológico plantea el reconocimiento de las principales formaciones rocosas del área, sus características físicas, químicas y estructurales, así como sus implicancias ambientales respecto a las obras previstas por el proyecto.

4.2. GEOLOGIA REGIONAL

Regionalmente la zona de estudio alberga las siguientes unidades litoestratigráficas:

A. Mesozoico

Formación Huallhuani (Ki-hu)

Esta formación descrita por primera vez por Jenks W. F. (1948), se encuentra en menor potencia distribuida en el área de trabajo, la secuencia está constituida por areniscas cuarzosas blanquecinas de grano medio a grueso con clastos subredondeados de cuarcita, y de composición diorítica/granodiorítica. (De la Cruz Bustamante, N. S. 1995)

Formación Arcurquina (Ki-ar)

La Formación Arcurquina, específicamente la unidad de Calizas Grises (Kis-ar), pertenece al Cretácico inferior, con afloramientos predominantes en la zona de estudio. Esta formación es parte de una secuencia sedimentaria marina depositada en un ambiente de plataforma somera, típica de los periodos transgresivos durante el Mesozoico

Esta unidad está dominada por:

Calizas grises masivas de textura uniforme, típicamente compactas, con estructuras sedimentarias como laminación cruzada y gradación en algunas secciones. Estratos intercalados en algunos sectores, se presentan intercalaciones de margas y lutitas, que pueden modificar las propiedades mecánicas locales. (De la Cruz Bustamante, N. S. 1995)

B. Cenozoico

GRUPO TACAZA

Fue descrita inicialmente por Newell, N.D. (op. cit) como Volcánico Tacaza; así en el área de trabajo el Grupo Tacaza está constituido en la base por una fase aglomerádica sobre la que yace otra lávica superior. (De la Cruz Bustamante, N. S. 1995)

4.3. GEOLOGIA LOCAL

Centrándonos ya más en la zona que ocupará la futura presa, podemos distinguir las siguientes formaciones:

4.3.1. Grupo Barroso – Caldera Caylloma (Np-cay)

La Caldera Caylloma (Np-cay) está constituida principalmente por:

Flujos piroclásticos: Materiales consolidados, con matriz de ceniza volcánica, fragmentos líticos y pumíticos.

Tobas y ignimbritas: De carácter masivo, con grado variable de soldadura, dependiendo de las condiciones de enfriamiento y compactación.

Depósitos lávicos: De composición andesítica a dacítica, asociados a episodios de efusión durante la actividad volcánica.

Estos materiales presentan porosidad significativa en algunos sectores, producto de vesículas y fracturamiento, lo que podría influir en la infiltración de agua teniendo en cuenta el diseño de presa.

Capacidad Portante	Permeabilidad	Estabilidad
Las tobas e ignimbritas soldadas tienen buena capacidad portante, pero deben evaluarse zonas con fracturamiento intenso o alteración.	Materiales sueltos o poco consolidados pueden ser moderadamente permeables, mientras que las tobas densamente soldadas presentan baja permeabilidad.	Los depósitos piroclásticos sueltos y zonas con alta pendiente son susceptibles a erosión o deslizamientos, lo que podría afectar la estabilidad de taludes en la obra.

En conclusión, aunque la Caldera Caylloma ofrece materiales con potencial de soporte estructural, las heterogeneidades litológicas y geotécnicas inherentes a los depósitos volcánicos requieren un diseño técnico cuidadoso para garantizar la seguridad y sostenibilidad del proyecto de presa.

Fotografía 1

Afloramiento de tobas (ignimbritas) en el estribo derecho del eje de presa



4.3.2. Grupo Tacaza – Andesitas (Np-ta/an)

El Grupo Tacaza, particularmente su unidad de Andesitas (Np-ta/an), forma parte de una secuencia volcánica del Neógeno-Pleistoceno, ampliamente distribuida en el sur del Perú. y en el área de trabajo Esta unidad aflora principalmente en terrenos montañosos, caracterizándose por sus espesos derrames lávicos y su relación con estructuras tectónicas locales

La unidad Np-ta/an está dominada por:

Lavas andesíticas: Compactas, de composición intermedia, con texturas porfíricas. Los fenocristales comunes son de plagioclasa, piroxeno y hornblenda, en una matriz microlítica.

Flujos piroclásticos subordinados: Tobas y brechas volcánicas, que se presentan en niveles intercalados.

Materiales secundarios: Alteración hidrotermal en ciertos sectores, con generación de arcillas y óxidos que modifican las propiedades mecánicas de las rocas.

En cuanto a las características geotécnicas en base a la descripción litológica se tiene:

Capacidad Portante	Permeabilidad	Estabilidad
Las lavas andesíticas compactas presentan alta capacidad portante, siendo adecuadas para soportar grandes cargas estructurales, como las de una presa. Sin embargo, las zonas fracturadas o alteradas pueden presentar reducción significativa en su resistencia.	La roca madre compacta generalmente es de baja permeabilidad, pero las fracturas y contactos entre flujos pueden actuar como vías preferenciales para la infiltración de agua.	Las pendientes pronunciadas formadas por los derrames lávicos pueden ser susceptibles a procesos de inestabilidad, especialmente en áreas con fracturamiento tectónico o alteración hidrotermal.

Fotografía 2

Afloramiento de la unidad Grupo Tacaza en el estribo izquierdo



En conclusión, La unidad Grupo Tacaza – Andesitas (Np-ta/an) presenta características litológicas favorables para la construcción de una presa, principalmente en zonas con lavas compactas. Sin embargo, la variabilidad local debido a fracturas, contactos litológicos y alteración hidrotermal requiere un análisis detallado para garantizar la seguridad y funcionalidad del proyecto.

4.3.3. Depósitos lacustres (Qh-la)

Los Depósitos Lacustres (Qh-la) corresponden a sedimentos cuaternarios recientes, acumulados cercanos al vaso de laguna. Este depósito se encuentra en zonas de planicies, y valle cerrado o áreas deprimidas, está caracterizada por materiales finos y mal consolidados:

Arcillas y limos de grano muy fino, con alta capacidad de retención de agua y baja permeabilidad intrínseca.

Materiales orgánicos: En algunos casos, los depósitos contienen materia orgánica acumulada, reflejo de la actividad biológica en el entorno lacustre.

Capas arenosas delgadas: Intercaladas en sectores donde hubo mayor energía en el sistema lacustre.

Estructuras sedimentarias: Laminación paralela, grietas de desecación y, ocasionalmente, marcas de ondulación

4.3.4. Depósito glaciar (Qh-gl)

Corresponden a acumulaciones de material heterogéneo transportado y depositado directamente por glaciares durante el Cuaternario. Litológicamente, están compuestos por una matriz de grano fino (arcillas y limos) mezclada con fragmentos clásticos de tamaño variable, desde arenas hasta bloques angulosos o subredondeados. Estos materiales son típicamente mal clasificados y no consolidados, con una disposición caótica, característica de los till o morrenas glaciares. En algunos casos, presentan lentes de material más fino o capas arenosas, evidenciando procesos secundarios de sedimentación fluvio-glaciar o reworking en la zona glaciar.

4.3.5. Depósito fluvio-glaciar (Qh-fg)

Están constituidos por materiales transportados y depositados por corrientes de agua provenientes de glaciares durante el Cuaternario. Litológicamente, se caracterizan por una composición heterogénea que incluye gravas, arenas y limos, generalmente bien estratificados y moderadamente clasificados, con una disposición en capas que refleja los flujos de agua glaciar. Los clastos suelen ser subangulosos a subredondeados, evidenciando transporte fluvial, y varían en tamaño desde arenas finas hasta bloques, dependiendo de la energía del flujo. Estos depósitos pueden presentar estructuras sedimentarias como laminación cruzada, gradación normal y, ocasionalmente, lentes de

material más fino, reflejando cambios en la dinámica del ambiente fluvio-glaciar. procesos secundarios de sedimentación fluvio-glaciar o reworking en la zona glaciar.

Fotografía 3.

Depósito fluvio-glaciar



4.3.6. Depósito coluvio-deluvial (Qh-cd)

Corresponden a acumulaciones heterogéneas de materiales derivados de la acción combinada de procesos gravitacionales y escorrentía superficial en terrenos de fuerte pendiente. Litológicamente, están dominados por bloques de roca volcánica, angulosos a subangulosos, que varían en tamaño desde decimétrico hasta métricos, embebidos en una matriz de material fino a grueso, compuesta por arenas, gravas y, ocasionalmente, limos. Estos depósitos presentan una disposición caótica, sin estratificación clara, lo que refleja su origen por movimientos en masa y procesos de arrastre por agua superficial. Los bloques volcánicos suelen estar poco alterados,

aunque pueden mostrar evidencias de fracturamiento o intemperismo dependiendo de su exposición y del ambiente local.

Fotografía 4

Depósito Coluvio-Deluvial en el vaso de presa



4.3.7. Depósito coluvial (Qh-co)

Estos depósitos provenientes principalmente de flujos piroclásticos están formados por materiales no consolidados que se acumulan al pie de pendientes debido a procesos gravitacionales. Litológicamente, están constituidos por fragmentos angulosos a subangulosos de rocas volcánicas, derivados principalmente de ignimbritas, tobas o brechas volcánicas, con tamaños que varían desde gravas hasta bloques de dimensiones métricas. Estos clastos están mezclados con una matriz de grano fino a medio, compuesta por arenas y limos volcánicos. La disposición es caótica, con una estratificación ausente o poco desarrollada, lo que refleja el carácter no selectivo del transporte por gravedad.

Fotografía 5

Depósito Coluvial en el cauce de rio



4.3.8. Depósito aluvial (Qh-al)

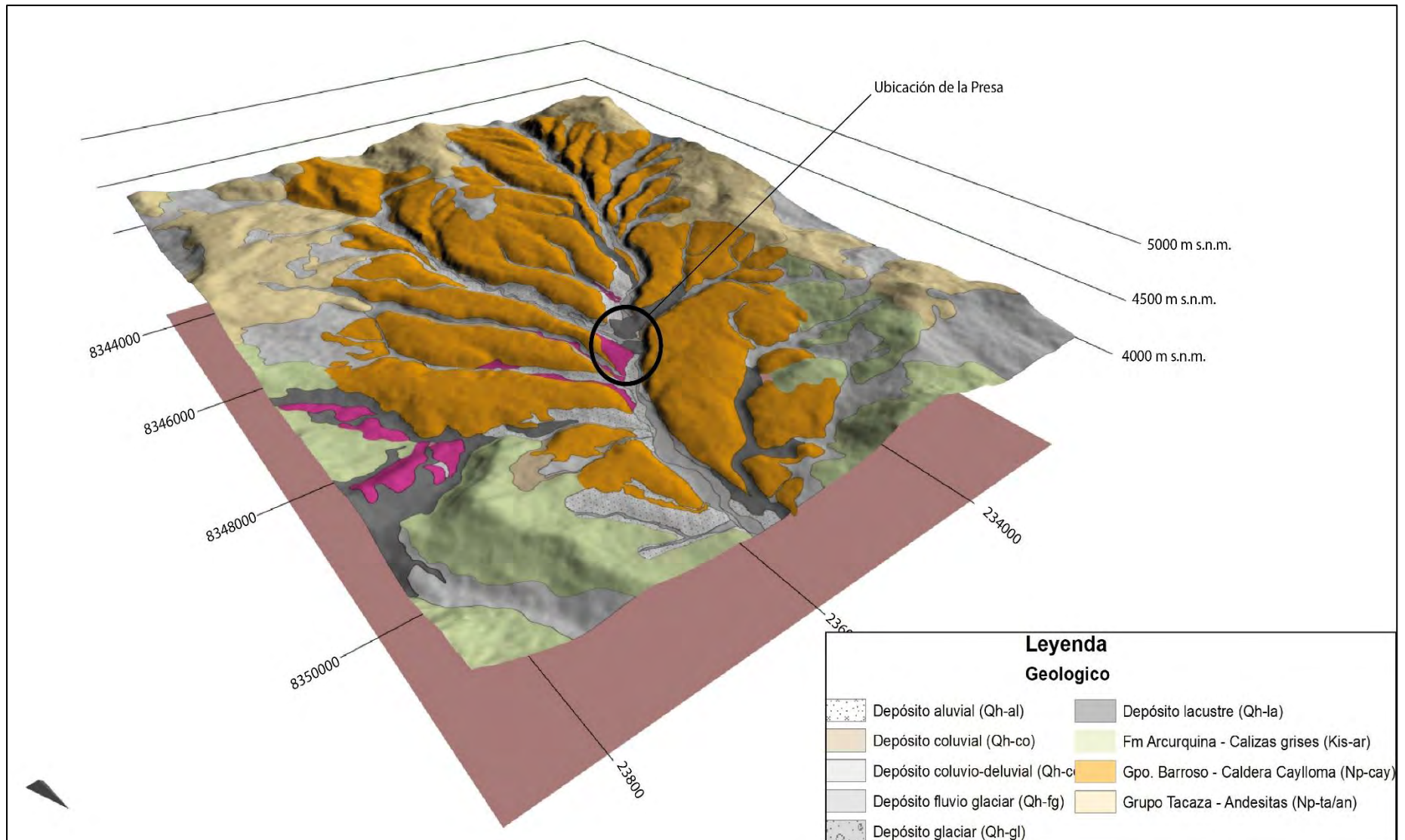
Son acumulaciones recientes de materiales transportados y depositados por ríos y corrientes de agua en ambientes de baja pendiente, como valles y planicies de inundación. Litológicamente, están constituidos por una mezcla de gravas, arenas, limos y arcillas, con clastos subredondeados a redondeados que reflejan un transporte fluvial prolongado. Estos depósitos suelen estar bien estratificados y presentan estructuras sedimentarias como laminación paralela, gradación normal y cruzada.

Fotografía 6

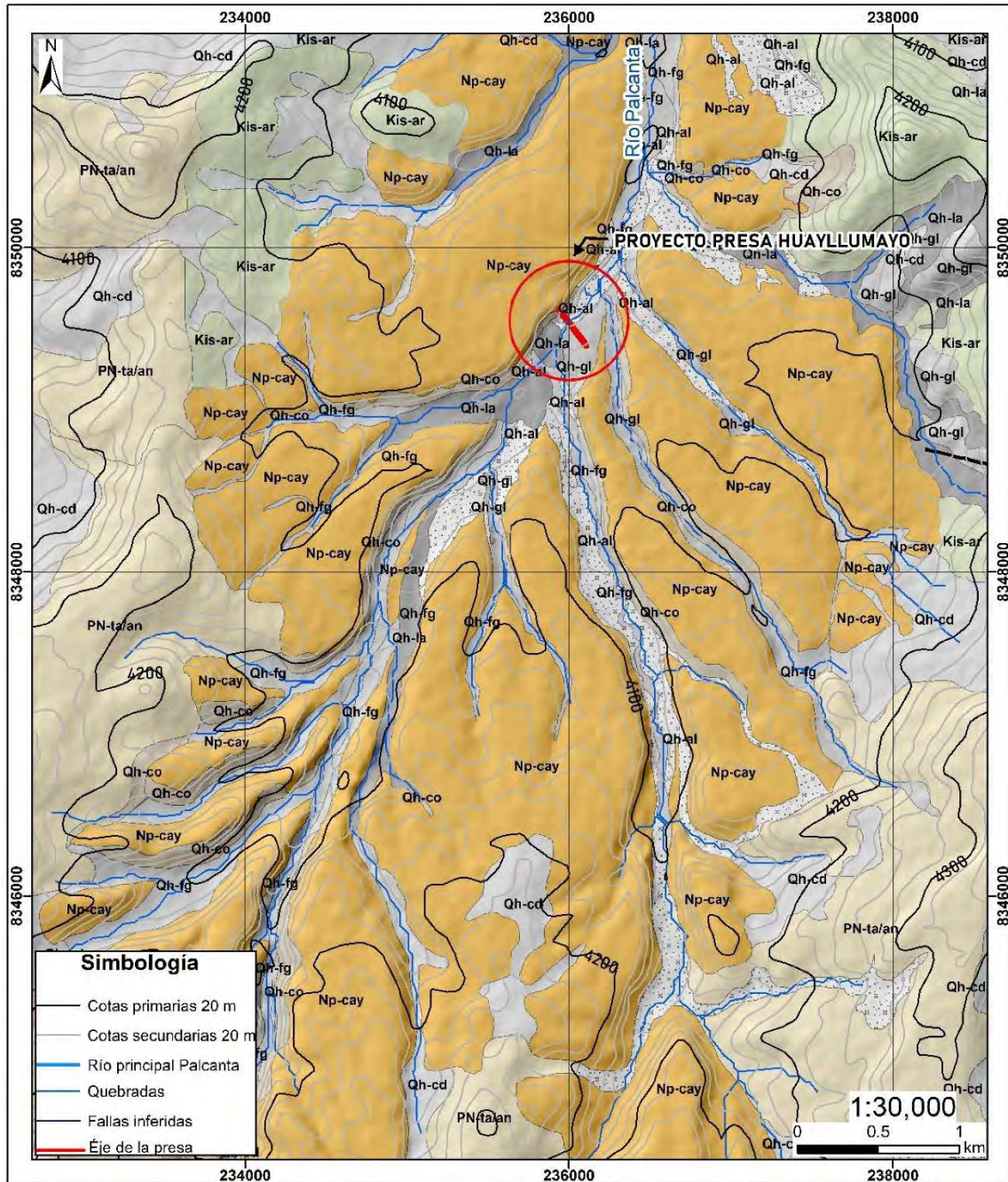
Deposición de los depósitos aluviales en el vaso de presa



Mapa 4 Visualización 3D del mapa geológico local del área de estudio



Mapa 5 Mapa Geológico Local



Leyenda Geológico

	Depósito aluvial (Qh-al)		Depósito lacustre (Qh-la)
	Depósito coluvial (Qh-co)		Fm Arcurquina - Calizas grises (Kis-ar)
	Depósito coluvio-deluvial (Qh-cd)		Gpo. Barroso - Caldera Caylloma (Np-cay)
	Depósito fluvio-glacial (Qh-fg)		Grupo Tacaza - Andesitas (Np-ta/an)
	Depósito glacial (Qh-gl)		

<p>UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAAD DEL CUSCO FACULTAD DE INGENIERIA GEOLOGICA, MINAS Y METALURGICA</p> <p>ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA GEOLOGICA</p>		
TESIS: EVALUACION GEOLÓGICA-GEOTÉCNICA DE FACTIBILIDAD PARA LA AMPLIACION DE LA PRESA HUAYLLUMAYO MEDIANTE LA CONSTRUCCION DE UN NUEVO EJE DE PRESA, DISTRITO Y PROVINCIA DE ESPINAR, DEPARTAMENTO DE CUSCO-2024		
MAPA: GEOLOGICO REGIONAL		
UBICACION:	ASESOR:	FECHA:
DISTRITO: ESPINAR	Dra. Josefina Escalante Gutierrez	JUNIO-2024
PROVINCIA: ESPINAR	ELABORADO POR:	MAPA:
REGION: CUSCO	Dr. ANGEL RODRIGO MOLLEHUANCA PABLO	
PROYECCION: UTM - WGS 84	Br. JESUS QUISPE CARDENAS	TES-04
ESCALA: INDICADA		

CAPITULO V GEOLOGIA ESTRUCTURAL

5.1. GENERALIDADES

Toda la geología estructural tiene una relación con los análisis de actividades tectónicas que modifico los estratos de los sedimentos encontrados, considerando que es indispensable tener conocimiento sobre dichas deformaciones y las secuencias sedimentarias.

Mediante este epígrafe conoceremos de qué manera están dispuestas las formaciones geológicas para conocer en cuanto es la magnitud de cambio de las discontinuidades con respecto a la disposición de agua.

En el área de trabajo se registran estructuras de variado origen que afectaron tanto a las rocas sedimentarias antiguas como a las recientes; asimismo las estructuras son diversas en los cuerpos ígneos de edad Cretáceo-Paleógeno y en las rocas volcánicas que se han manifestado intermitentemente desde el Permiano hasta el Cenozoico, observándose plegamientos, fracturamientos y direcciones de flujo característico que permiten identificar cinco unidades o dominios estructurales que reciben las denominaciones de : Cuenca Yura, Alto de Yauri, Altiplano, Alto de Azángaro -Ayaviri y Cuenca Putina.

5.2. GEOLOGIA ESTRUCTURAL REGIONAL

Alto de Yauri

Este dominio estructural se ubica mayormente en el sector Norte y Noreste del cuadrángulo de Yauri, está orientado al Noroeste-Sureste y se prolonga al sureste cubriendo la esquina Suroeste de la hoja de Ayaviri.

Comprende rocas del Pérmiano superior y está limitada por fracturas de orientación Andina que han sido cubiertas discordantemente por unidades litoestratigráficas jóvenes, la reactivación de los fallamientos antiguos de tipo normal se manifiestan en estos lugares por saltos verticales de dimensión decimétrica.

Los fallamientos han jugado un rol importante en el modelado estructural de este alto como se interpreta en el mapa geológico, el predominio de estructuras andinas, el alineamiento que recorre a lo largo del río Palpatamayo tiene rumbo aproximado NE y limita al bloque paleozoico.

5.3. GEOLOGIA ESTRUCTURAL LOCAL

5.3.1. Fallas

El sistema de falla en la zona de la presa es de menor magnitud, constituida por dos fallas normal de orientación NO-SE.

Falla 1 – Margen Derecha

Ubicación: 1.0 km al margen derecho de la presa.

Dip Direction: 305° (5° NO).

Dip: 30°, en el bloque hundido.

Longitud: Aproximadamente 3.0 km.

Pitch: 84.2°

Vector normal (K):

$$K_1 = (0.4096, 0.2868, -0.8660)$$

Interpretación

- Es una falla normal de rumbo NO-SE.
- Según el valor del pitch indica un movimiento casi completamente vertical dentro del plano de falla, típico de una falla normal con leve componente oblicua.

- Al tener una longitud de 3 km, es una estructura secundaria de importancia local, pero relevante si intercepta fundaciones o zonas de presión del embalse.

Falla 2 – Margen Izquierda

Ubicación: 1.5 km al margen izquierdo de la presa.

Dip Direction: 332°

Dip: 37°, en el bloque levantado.

Longitud: Aproximadamente 5.5 km.

Pitch: 51.2°

Vector normal (K):

$$K_2 = (0.2811, 0.5400, -0.7934)$$

Interpretación

- Esta falla también tiene orientación NO-SE, pero con mayor longitud → podría representar una estructura más regional.
- Según el pitch, indica movimiento oblicuo inverso, es decir, una falla inversa con componente lateral, no completamente vertical.
- Su magnitud (5.5 km) y variabilidad en rumbo indican una zona estructuralmente activa o reactivada.

5.3.2. Diaclasas y Fracturas

Para evaluar las características y el comportamiento del macizo rocoso en superficie, se realizaron seis (6) estaciones geomecánicas distribuidas a lo largo del talud en ambos estribos de la presa Huayllumayo. La recopilación de datos incluyó tanto características cualitativas como cuantitativas del macizo rocoso, siguiendo la

metodología previamente descrita. Este análisis busca caracterizar el macizo y proporcionar información esencial para el diseño y construcción de la presa.

Tabla 15

Resumen de estaciones Geomecánicas

Ítem	Estación Geomecánica	Este	Norte	Tipo de Roca
1	EG-01	236178	8349407	Ignimbrita
2	EG-02	236158	8349432	Ignimbrita
3	EG-03	235695	8349494	Ignimbrita
4	EG-04	236007	8349527	Ignimbrita
5	EG-05	235989	8349515	Ignimbrita
6	EG-06	235937	8349591	Ignimbrita

Fuente: Elaboración propia

Tabla 16

Parámetros estructurales de las ventanas analizadas

EG-01		EG-02		EG-03		EG-04		EG-05		EG-06	
DIP	DIR	DIP	DIR	DIP	DIR	DIP	DIR	DIP	DIR	DIP	DIR
224	84	80	78	167	62	58	86	161	46	312	77
270	82	165	44	112	19	260	78	110	75	309	80
243	84	50	84	143	25	340	81	240	72	308	75
66	16	320	88	195	19	50	10	205	11	171	87
295	47	65	80	65	89	310	79	10	85	260	71
4	46	70	84	145	45	25	80	345	6	141	80
351	71	332	87	250	84	245	80	160	20	280	84
64	79			325	83	335	82	215	88	194	64
159	87			67	19	10	88	30	85	120	84
328	41			260	89	275	85	218	59	122	85

Fuente: Elaboración propia

EG – 01

El tipo de falla planar es la principal amenaza debido a la fractura (DIP DIR: 270°, DIP: 82°), que coincide con el plano del talud. Las fracturas oblicuas también podrían

propiciar fallas en cuña si se presentan condiciones desfavorables como saturación del material o movimientos tectónicos locales. Para ello es recomendable realizar un drenaje efectivo del talud para evitar acumulación de agua y reducir la presión interna, además de reforzar las zonas de fracturas paralelas mediante anclajes o muros de contención.

EG – 02

Este tipo de falla es probable en áreas donde las fracturas están alineadas con la pendiente del talud (especialmente la Fractura 1 - DIP DIR: 80°, DIP: 78° y Fractura 5 - DIP DIR: 65°, DIP: 80°). La saturación del material o la presencia de agua podría reducir la fricción en estas fracturas, favoreciendo deslizamientos.

EG – 03

Con base en el análisis de las fracturas, se identifican tres posibles mecanismos de falla en el talud con dip direction 120° y dip 80°: (1) una potencial falla planar asociada con la fractura de dip direction 167° y dip 62°; (2) posibles fallas en cuña por la intersección de fracturas como 145°/45° y 167°/62°, o 250°/84° y 325°/83°; y (3) riesgo de fallas por volteo debido a fracturas subverticales como 65°/89° y 260°/89°, especialmente si están opuestas al plano del talud.

EG – 04

Con base en el análisis de las fracturas respecto al talud con dip direction 310° y dip 78°, se identifican los siguientes posibles mecanismos de falla: (1) una potencial falla planar con la fractura de dip direction 310° y dip 79°, ya que coincide casi exactamente con el plano del talud; (2) posibles fallas en cuña por la interacción de fracturas como 335°/82° y 245°/80°, cuya línea de intersección podría deslizarse en la dirección del talud; y (3) riesgo de fallas por volteo debido a fracturas subverticales como 58°/86° y 275°/85°.

EG – 05

Con base en el análisis de las fracturas respecto al talud con dip direction 310° y dip 78° , se identifican los siguientes posibles mecanismos de falla: (1) Falla planar con la fractura de dip direction 240° y dip 72° , que tiene una orientación cercana al talud y podría deslizarse si las condiciones lo permiten; (2) Fallas en cuña debido a la posible interacción de fracturas como $218^\circ/59^\circ$ y $110^\circ/75^\circ$, cuya línea de intersección podría dirigirse hacia la dirección del talud; y (3) Fallas por volteo asociadas a fracturas subverticales como $10^\circ/85^\circ$ y $30^\circ/85^\circ$.

EG – 06

Con base en el análisis de las fracturas respecto al talud con dip direction 125° y dip 83° , se identifican los siguientes posibles mecanismos de falla: (1) Falla planar con las fracturas de dip direction $120^\circ/84^\circ$ y $122^\circ/85^\circ$, que están casi alineadas con la orientación del talud y podrían deslizarse si las condiciones lo permiten; (2) Fallas en cuña debido a la posible interacción de fracturas como $141^\circ/80^\circ$ y $194^\circ/64^\circ$, cuya línea de intersección podría dirigirse hacia el plano del talud; y (3) Fallas por volteo asociadas a fracturas subverticales como $171^\circ/87^\circ$ y $280^\circ/84^\circ$, si están opuestas al talud.

5.4. ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN ESTRUCTURAL LOCAL

Para analizar e interpretar estructuralmente la geología local del área de estudio, se utilizaron mapas geológicos regionales para identificar patrones estructurales mayores, como fallas regionales, pliegues y zonas de cizalla, proporcionando un marco tectónico amplio. A esto se sumó la identificación de fallas cercanas, tanto regionales como locales, y su influencia en la deformación del área. Paralelamente, se llevó a cabo

un análisis sistemático de las fracturas medidas directamente en campo, evaluando su orientación, buzamiento y relación con las estructuras principales. Este enfoque combinó datos previos y observaciones directas para caracterizar las estructuras locales y su conexión con el contexto tectónico regional.

Tabla 17

Datos estructurales de las discontinuidades

DISCONTINUIDADES	
DIP	DIP DIR
46	161
75	110
72	240
11	205
85	10
6	345
20	160
88	215
85	30
59	218
77	312
80	309
75	308
87	171
71	260
80	141
84	280
64	194
84	120
85	122

Fuente: Elaboración propia

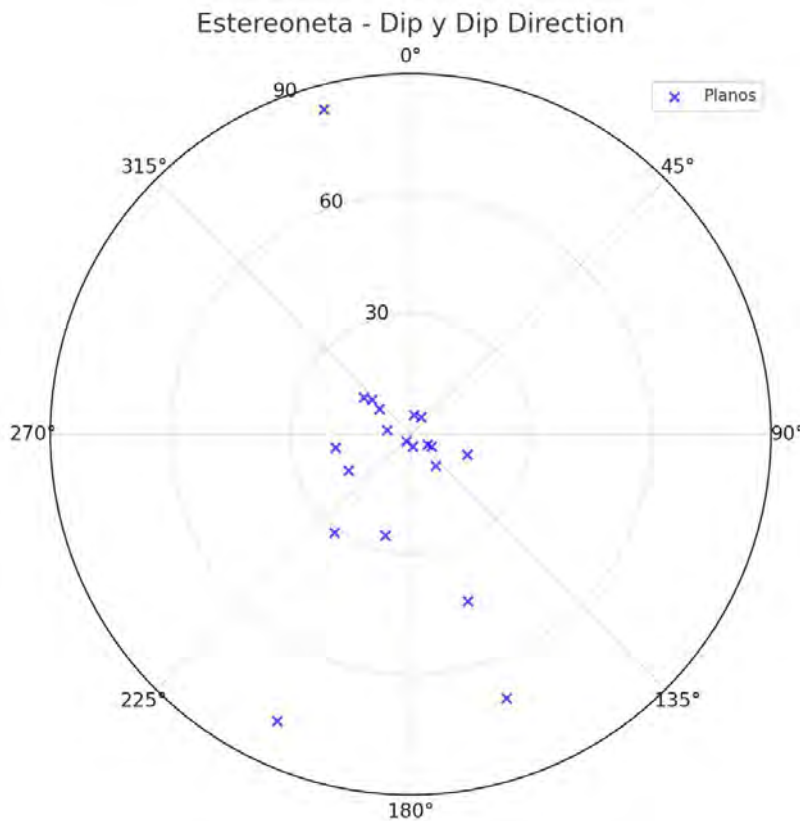
El análisis de datos con estereonet muestra las orientaciones estructurales (dirección y buzamiento) como puntos en una proyección polar, de esta se interpreta que "Hay una notable concentración de polos (normales a los planos) hacia direcciones específicas, lo que sugiere familias de estructuras con orientaciones comunes, además se observan

acumulaciones hacia los cuadrantes sureste, suroeste y algunos en el noreste. Esto podría indicar conjuntos estructurales asociados a fallas, esquistosidades o estratos plegados.

Por ello se estima que es posible que existan dos o más familias estructurales dominantes, posiblemente vinculadas a un evento tectónico o deformacional.

Figura 7

Estereonet para identificación de orientaciones de discontinuidades

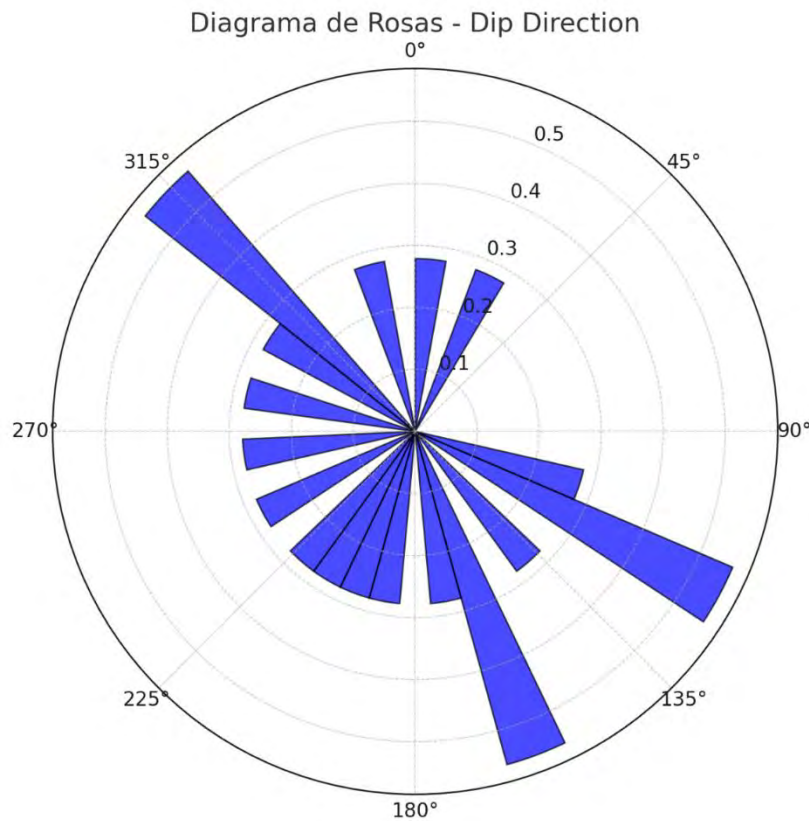


El diagrama de rosas Visualiza las direcciones de buzamiento (dip direction), destacando las direcciones predominantes. hacia $\sim 120-160^\circ$ (sureste) y $\sim 300-315^\circ$ (noroeste) y menores acumulaciones aparecen en direcciones $\sim 10-30^\circ$ (noreste). Orientaciones principales:

En conclusión, los datos sugieren estructuras con tendencias aproximadamente sureste-noroeste, lo que podría representar un sistema estructural conjugado o un plegamiento con una orientación clara. Si se trata de fallas, estas direcciones pueden estar asociadas a sistemas de esfuerzo tectónico con una orientación de compresión principal perpendicular a estas direcciones predominantes.

Figura 8

Diagrama de rosas para visualización de direcciones predominantes



El análisis de tendencias: Gráfico de dispersión que relaciona dip direction y dip, coloreado por el buzamiento para identificar posibles agrupamientos o patrones permite observar cómo varía el buzamiento (*dip*) en función de las direcciones (*dip direction*). Agrupando los resultados en dos bloques:

- **Altos buzamientos (70-88°):** Se concentran en direcciones como $\sim 120^\circ$, $\sim 310^\circ$, y $\sim 215^\circ$, lo que podría indicar estructuras inclinadas o fallas de alto ángulo.

- **Bajos buzamientos (<30°):** Menos frecuentes, pero están presentes en direcciones como $\sim 160^\circ$ y $\sim 345^\circ$, lo que podría relacionarse con estratos más planos o planos de despegue.

Según la interpretación: Zonas de buzamiento alto: Podrían corresponder a estructuras activas, como fallas inversas o normales muy inclinadas.

Buzamientos bajos: Asociados a planos más someros, como estratos sedimentarios o estructuras terciarias más suaves.

A partir de los análisis anteriores, se pueden identificar las siguientes hipótesis estructurales:

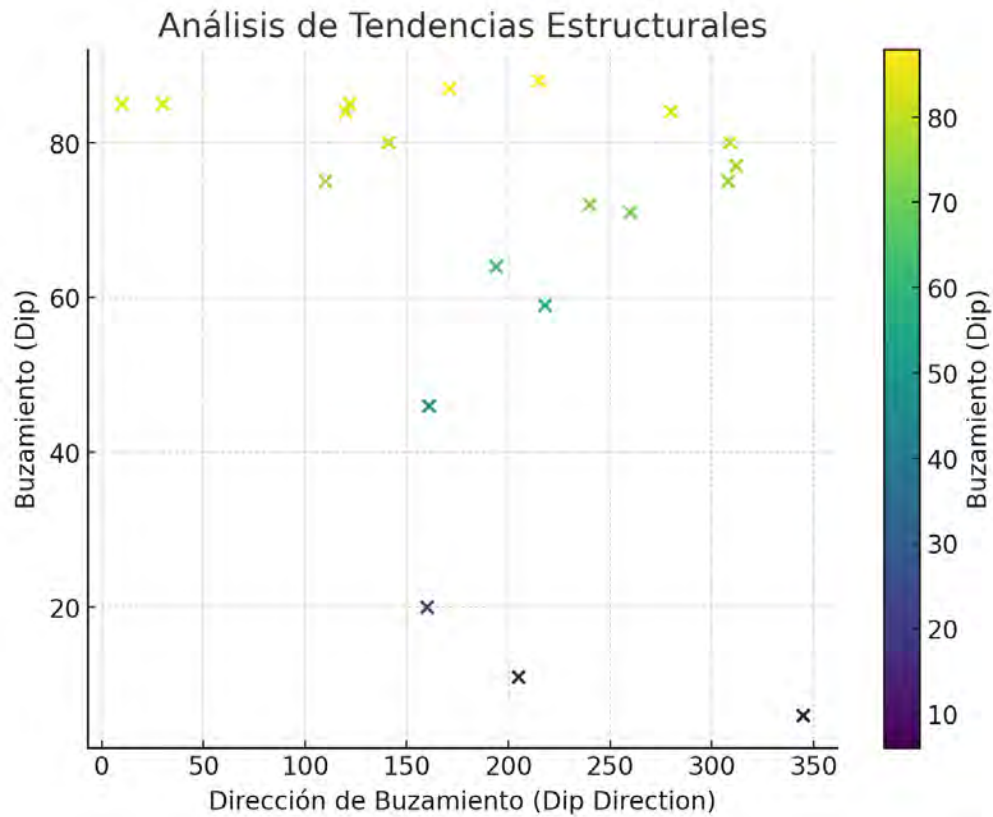
Familias estructurales: Los datos indican al menos dos familias principales de estructuras con orientaciones predominantes $\sim 120^\circ$ - 160° y $\sim 300^\circ$ - 310° .

Altos buzamientos: Sugieren la presencia de fallas de alto ángulo o zonas de deformación intensa (por ejemplo, cizalla).

Compatibilidad tectónica: Las direcciones predominantes y los buzamientos sugieren un sistema tectónico conjugado, posiblemente asociado a esfuerzos compresivos con ejes de compresión aproximados NE-SO.

Figura 9

Análisis de tendencias estructurales



Teniendo en cuenta los datos locales y relacionando a las cinco unidades o dominios estructurales identificados de manera regional—Cuenca Yura, Alto de Yauri, Altiplano, Alto de Azángaro-Ayaviri y Cuenca Putina— representan áreas tectónicas con dinámicas geológicas particulares que han influido en la generación de fallas y el fracturamiento de litologías cercanas.

1. **Cuenca Yura:** Como una depresión sedimentaria, ha actuado como receptora de esfuerzos tectónicos compresivos durante fases de deformación andina, generando fallas normales y de inversión en su base sedimentaria. Estas

estructuras pueden extenderse hacia zonas adyacentes, promoviendo fracturamiento en las litologías sobreyacentes.

2. **Alto de Yauri:** Representa un dominio elevado y tectónicamente activo asociado a levantamientos corticales. Su posición como un bloque rígido ha concentrado esfuerzos compresivos y transcurrentes, lo que ha favorecido la formación de fallas inversas y el desarrollo de fracturas en sus bordes y zonas adyacentes.
3. **Altiplano:** Esta gran meseta tectónica acumula deformaciones de largo plazo debido a la compresión regional. Las fallas asociadas al Altiplano suelen ser de gran extensión y tipo inverso, mientras que las fracturas menores reflejan ajustes locales a la deformación regional.
4. **Alto de Azángaro-Ayaviri:** Este alto estructural ha funcionado como un bloque rígido, donde los esfuerzos tectónicos han generado fallas inversas en su periferia y sistemas de fracturamiento por cizalla dentro de las unidades litológicas cercanas. Estas fracturas pueden estar relacionadas con la redistribución de esfuerzos entre los altos y las cuencas vecinas.
5. **Cuenca Putina:** Como una depresión tectónica más joven, ha registrado subsidencia y deformación asociada a movimientos compresivos y extensivos. Las fallas normales y las fracturas en esta cuenca reflejan ajustes locales a los movimientos de bloques adyacentes, como los altos estructurales, y la interacción con el sistema tectónico andino.

En conjunto, la interacción de estos dominios estructurales ha generado una red compleja de fallas y fracturas en las litologías cercanas, donde los esfuerzos tectónicos regionales —principalmente de compresión y cizalla— han sido modulados por las

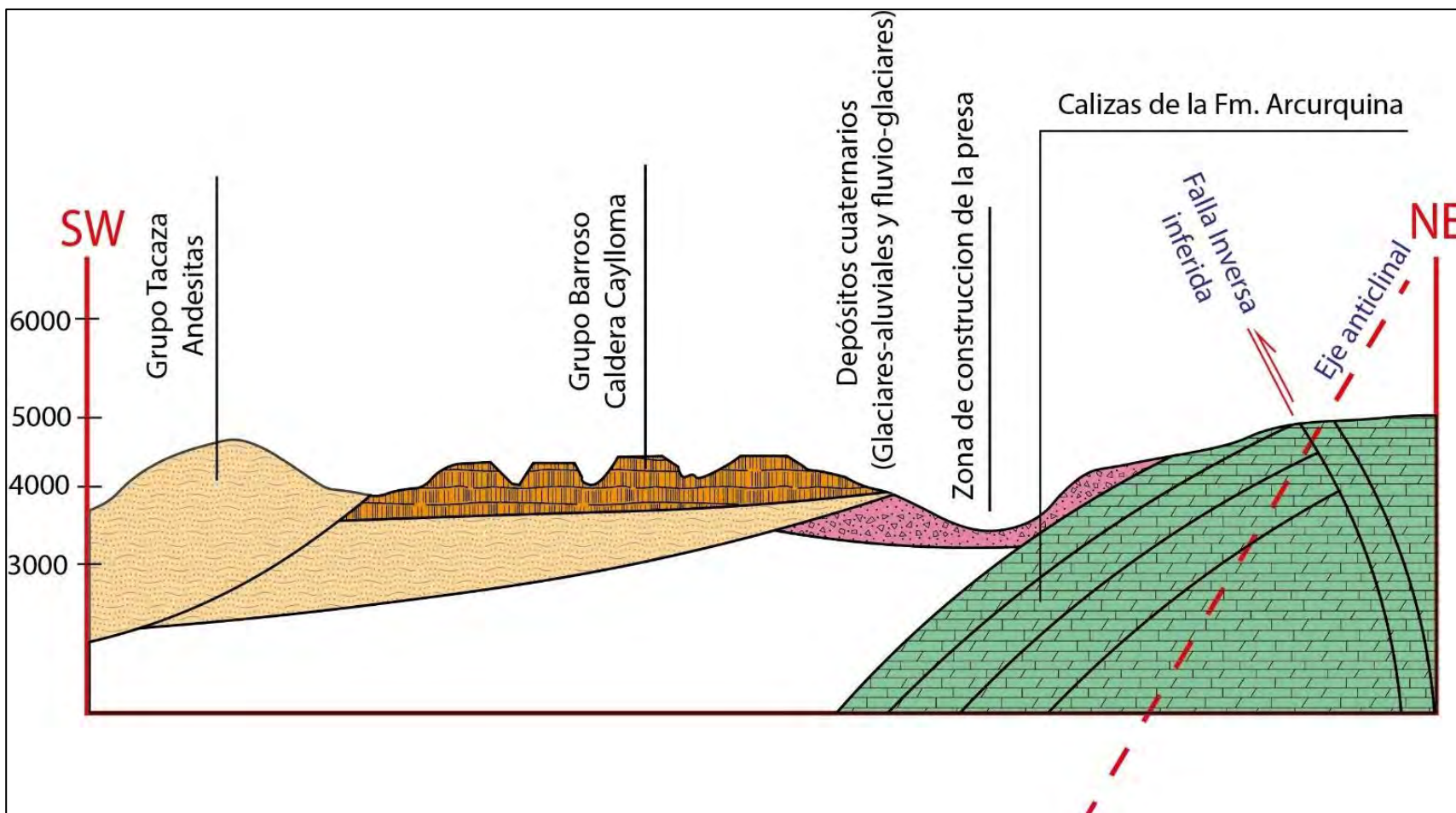
características de cada dominio. Esto ha dado lugar a patrones de deformación variables y una arquitectura estructural que refleja la dinámica geotectónica de la región.

Estos dominios estructurales, a lo largo del tiempo, han contribuido a la formación de zonas anticlinales en las formaciones Arcurquina, de edad cretácica, debido a la acción de esfuerzos compresivos regionales relacionados con la tectónica andina. La compresión generada por estos dominios, como el Alto de Yauri, el Alto de Azángaro-Ayaviri y el Altiplano, favoreció el plegamiento de las capas sedimentarias, formando estructuras anticlinales que canalizan y concentran esfuerzos en zonas específicas. Estas deformaciones, al interactuar con las propiedades mecánicas de las rocas más rígidas, como las volcánicas del Grupo Tazaca y Barroso, indujeron fracturamiento y la generación de fallas locales.

El comportamiento diferencial de los dominios estructurales, como los altos rígidos que actúan como barreras tectónicas y las cuencas que acomodan subsidencia y deformación, amplificó la concentración de esfuerzos en los bordes de contacto. Esto resultó en una red compleja de fracturas y fallas, particularmente en las rocas volcánicas que son más propensas a fracturarse por su baja ductilidad. Estas estructuras locales, vinculadas al plegamiento y la deformación regional, han definido el marco tectónico actual y su influencia en la geología estructural de la zona de estudio.

Figura 10

Interpretación estructural del área de estudio



CAPITULO VI GEOHIDROLÓGIA

6.1. GENERALIDADES

La clasificación hidrogeológica de los materiales en la zona de estudio muestra una gran heterogeneidad en cuanto a permeabilidad, capacidad de retención y estabilidad. Las unidades volcánicas (como la Caldera Caylloma y el Grupo Tacaza) presentan zonas con alta permeabilidad debido a fracturas y vesículas, pero también áreas con baja permeabilidad en los flujos compactos. Las unidades sedimentarias, como los depósitos lacustres y aluviales, tienden a ser de baja a moderada permeabilidad, con una alta capacidad de retención de agua, mientras que las formaciones glaciales y fluvio-glaciares varían dependiendo de la proporción de materiales gruesos y finos.

6.2. CLASIFICACIÓN HIDROGEOLÓGICA DE UNIDADES LITOLÓGICAS

6.2.1. Grupo Barroso – Caldera Caylloma

- **Tipo de material:** Volcánico (flujos piroclásticos, tobas, ignimbritas, depósitos lávicos).
- **Clasificación hidrogeológica:** Unidad con alto potencial de acuífero local en zonas fracturadas.
 - **Características:**
 - Zonas fracturadas y vesiculadas que permiten una mayor infiltración.
 - *Capacidad de retención:* Moderada a alta en zonas fracturadas.
 - *Permeabilidad:* Moderada en materiales sueltos, baja en tobas densamente soldadas.

- *Estabilidad*: Zonas con pendiente elevada y materiales sueltos pueden presentar inestabilidad.

6.2.2. Grupo Tacaza – Andesitas

- **Tipo de material**: Volcánico (lavas andesíticas, flujos piroclásticos).
- **Clasificación hidrogeológica**: Unidad de baja permeabilidad en roca madre compacta con zonas de alta permeabilidad en fracturas.
 - **Características**:
 - La roca compacta presenta baja permeabilidad.
 - Las fracturas y contactos entre flujos actúan como vías preferenciales de infiltración.
 - *Capacidad de retención*: Moderada en zonas fracturadas.
 - *Permeabilidad*: Baja en las rocas masivas, moderada en las zonas fracturadas.
 - *Estabilidad*: Riesgo de inestabilidad en zonas con fracturación o alteración hidrotermal.

6.2.3. Formación Arcurquina – Calizas Grises

- **Tipo de material**: Sedimentario (calizas grises, lutitas, margas).
- **Clasificación hidrogeológica**: Unidad de baja permeabilidad y acuífero de escaso desarrollo.
 - **Características**:
 - La caliza compacta tiene una permeabilidad baja, mientras que las lutitas y margas tienen mayor capacidad de infiltración.
 - *Capacidad de retención*: Moderada en intercalaciones de margas y lutitas.

- *Permeabilidad*: Baja en calizas compactas, moderada en lutitas y margas.
- *Estabilidad*: Generalmente estable, pero las lutitas pueden presentar inestabilidad bajo condiciones saturadas.

6.2.4. Depósitos Lacustres (Qh-la)

- **Tipo de material**: Sedimentario (arcillas, limos, materia orgánica).
- **Clasificación hidrogeológica**: Unidad de muy baja permeabilidad.
 - **Características**:
 - Los materiales finos tienen una capacidad alta de retención de agua, pero baja permeabilidad.
 - *Capacidad de retención*: Alta debido a la finura de los materiales.
 - *Permeabilidad*: Baja.
 - *Estabilidad*: Baja estabilidad, propensa a deslizamientos y saturación por agua.

6.2.5. Depósitos Glaciares (Qh-gl)

- **Tipo de material**: Sedimentario (mezcla heterogénea de arcillas, limos, fragmentos clásticos).
- **Clasificación hidrogeológica**: Unidad de baja a moderada permeabilidad.
 - **Características**:
 - Dependiendo de la proporción de fragmentos grandes, la permeabilidad varía.
 - *Capacidad de retención*: Moderada a alta en zonas con material fino.
 - *Permeabilidad*: Baja en arcillas y limos, moderada en zonas con gravas o bloques.

- *Estabilidad*: Inestabilidad elevada debido a la disposición caótica de los materiales.

6.2.6. Depósitos Fluvio-Glaciares (Qh-fg)

- **Tipo de material**: Sedimentario (gravas, arenas, limos).
- **Clasificación hidrogeológica**: Unidad con permeabilidad moderada a alta.
 - **Características**:
 - Los flujos de agua glacial favorecen la estratificación y clasificación de los materiales, permitiendo un buen drenaje.
 - *Capacidad de retención*: Baja a moderada.
 - *Permeabilidad*: Alta en gravas y arenas, moderada en limos.
 - *Estabilidad*: Estabilidad generalmente alta, aunque en zonas con bloques grandes podría haber movimientos locales.

6.2.7. Depósitos Coluvio-Deluviales (Qh-cd)

- **Tipo de material**: Sedimentario (bloques angulosos, arena, grava).
- **Clasificación hidrogeológica**: Unidad de permeabilidad moderada a alta en zonas con materiales gruesos.
 - **Características**:
 - Los materiales gruesos (bloques y gravas) permiten un buen drenaje, aunque los limos y arenas finas presentan mayor retención de agua.
 - *Capacidad de retención*: Moderada en zonas con gravas y arenas.
 - *Permeabilidad*: Alta en zonas con materiales gruesos, moderada en limos.
 - *Estabilidad*: Alta susceptibilidad a deslizamientos debido a la disposición caótica de los bloques.

6.2.8. Depósitos Aluviales (Qh-a)

- **Tipo de material:** Sedimentario (gravas, arenas, limos, arcillas).
- **Clasificación hidrogeológica:** Unidad con permeabilidad moderada a alta.
 - **Características:**
 - Estos depósitos bien estratificados permiten un drenaje eficiente, especialmente en áreas dominadas por gravas y arenas.
 - *Capacidad de retención:* Moderada, mayor en zonas con limos o arcillas.
 - *Permeabilidad:* Alta en gravas y arenas, baja en limos y arcillas.
 - *Estabilidad:* Estabilidad generalmente alta, aunque las zonas arcillosas pueden estar sujetas a deslizamientos si están saturadas.

Tabla 18

Clasificación Hidrogeológica de Unidades Litológicas

Unidad/Depósito	Litología Principal	Permeabilidad
Grupo Barroso – Caldera Caylloma	Flujos piroclásticos, tobas e ignimbritas, depósitos lávicos andesíticos y dacíticos	Moderada a baja; alta en zonas fracturadas y materiales sueltos.
Grupo Tacaza – Andesitas	Lavas andesíticas compactas con flujos piroclásticos subordinados.	Generalmente baja en la roca compacta; fracturas y contactos pueden actuar como vías preferenciales de infiltración.
Formación Arcurquina – Calizas grises	Calizas masivas con intercalaciones de margas y lutitas.	Baja en calizas compactas; intercalaciones de lutitas pueden actuar como planos de infiltración localizados.
Depósitos lacustres (Qh-la)	Arcillas y limos finos, ocasionalmente con materia orgánica y capas arenosas delgadas.	Baja debido a su textura fina y compactación; alta capacidad de retención de agua.
Depósitos glaciares (Qh-gl)	Matriz heterogénea con fragmentos clásticos de tamaño variable, mal clasificados.	Moderada en zonas con lentes arenosas o materiales reworked; baja en arcillas y limos de matriz.
Depósitos fluvio- glaciares (Qh-fg)	Gravas, arenas y limos bien estratificados, ocasionalmente con bloques.	Alta en gravas y arenas; moderada en limos; buen drenaje por su estratificación.
Depósitos coluvio- deluviales (Qh-cd)	Bloques angulosos a métricos embebidos en matriz heterogénea de arenas, gravas limos.	Alta en gravas y arenas; baja en arcillas y limos compactos.
Depósitos aluviales (Qh-al)	Gravas, arenas, limos y arcillas, bien estratificados, con clastos subredondeados a redondeados.	Moderada, mejor en zonas con gravas y arenas; menor en zonas arcillosas.

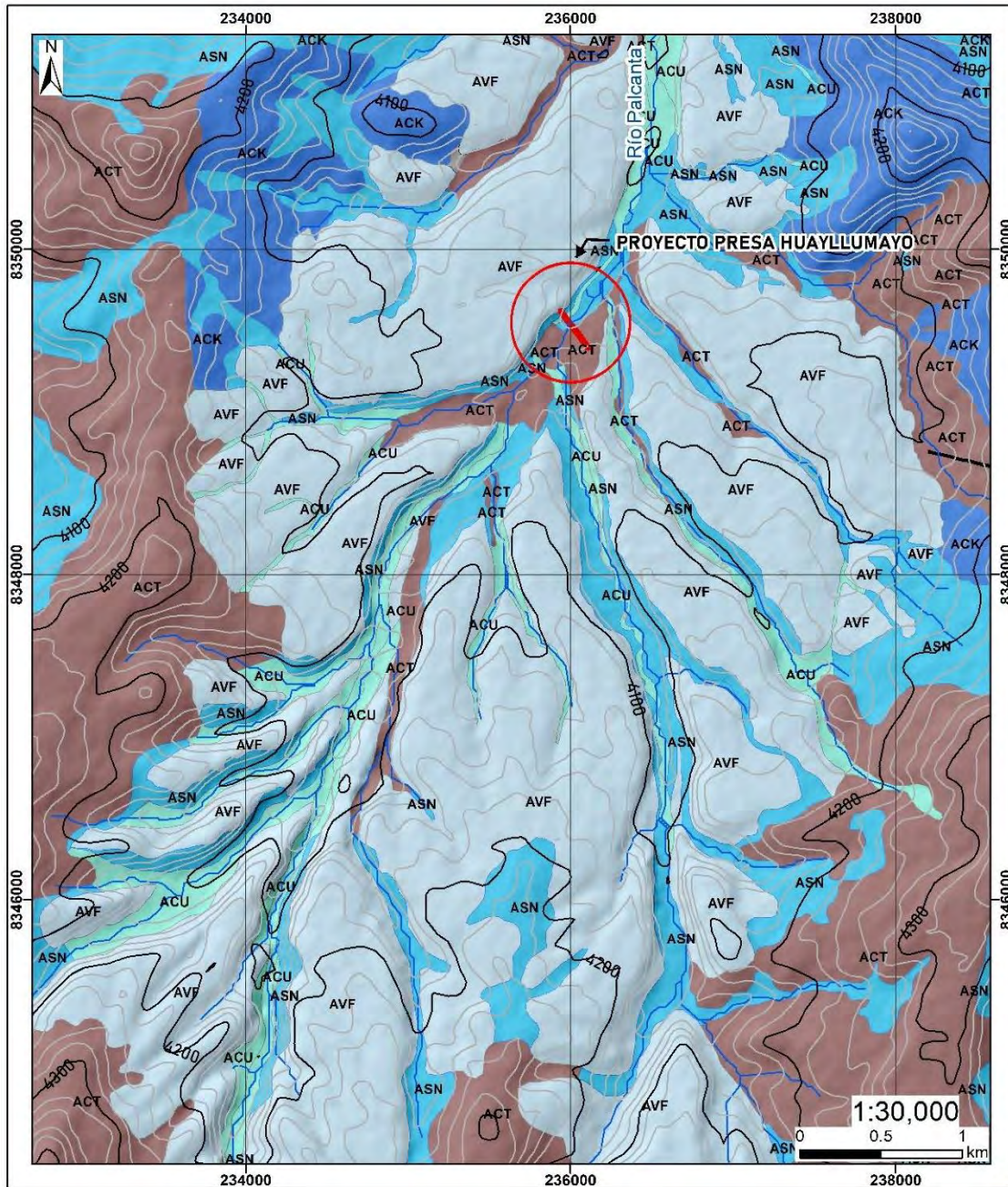
Teniendo en cuenta las condiciones litológicas, así como las características teóricas y observadas en campo, se realizó la clasificación de las unidades geológicas según su comportamiento hidrogeológico de la siguiente manera:

Tabla 19

Clasificación de Unidades Geológicas según su comportamiento Hidrogeológico

Unidad Litológica	Clasificación Hidrogeológica	Descripción
Grupo Barroso – Caldera Caylloma	Acuífero volcánico fisurado local	Materiales volcánicos (flujos piroclásticos, tobas e ignimbritas) con fracturas y vesículas que permiten infiltración de agua. Zonas de baja permeabilidad en tobas compactas.
Grupo Tacaza – Andesitas	Acuitardo	Las lavas andesíticas compactas actúan como acuitardo, pero las fracturas permiten un flujo de agua, creando un acuífero local en las zonas fracturadas.
Formación Arcurquina – Calizas Grises	Acuífero Karstico	Las calizas compactas tienen baja permeabilidad, lo que las clasifica como acuitardos. Las lutitas y margas pueden actuar como acuíferos locales en algunas zonas intercaladas.
Depósitos Lacustres (Qh-la)	Acuitardo	Arcillas y limos con baja permeabilidad, actúan como acuitardos debido a su capacidad de retención de agua y baja capacidad de infiltración.
Depósitos Glaciares (Qh-gl)	Acuífero local / Acuitardo	Materiales heterogéneos con permeabilidad moderada. En zonas con fragmentos gruesos, pueden actuar como acuíferos locales, pero las zonas finas son acuitardos.
Depósitos Fluvio-Glaciares (Qh-fg)	Acuífero libre	Gravas, arenas y limos bien clasificados que permiten un flujo significativo de agua, clasificados como acuífero libre.
Depósitos Coluvio-Deluviales (Qh-cd)	Acuífero local / Acuitardo	Materiales gruesos (gravas, bloques) con alta permeabilidad, aunque las zonas finas pueden actuar como acuitardos.
Depósitos Aluviales (Qh-al)	Acuífero libre	Gravas, arenas y limos bien estratificados, que permiten un buen drenaje, siendo clasificados como acuífero libre.

Mapa 6 Mapa Hidrogeológico



Leyenda	
Hidrogeologico local	
	ACK: Acuífero Karsítico, mayoritariamente calizas
	ACT: Acuitardo - rocas volcánicas poco fracturadas
	ACU: Acuífero regional
	ASN: Acuífero sedimentario no consolidado
	AVF: Acuífero volcánico fisurado

Simbología	
	Cotas primarias 20 m
	Cotas secundarias 20 m
	Río principal Palcanta
	Quebradas
	Fallas inferidas
	Éje de la presa

<p>UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABADEL CUSCO FACULTAD DE INGENIERIA GEOLOGICA, MINAS Y METALURGICA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA GEOLOGICA</p>		
TESIS: EVALUACION GEOLÓGICA-GEOTÉCNICA DE FACTIBILIDAD PARA LA AMPLIACION DE LA PRESA HUAYLLUMAYO MEDIANTE LA CONSTRUCCION DE UN NUEVO EJE DE PRESA, DISTRITO Y PROVINCIA DE ESPINAR, DEPARTAMENTO DE CUSCO-2024		
MAPA: HIDROGEOLOGICO		
UBICACIÓN:	ASESOR:	FECHA:
DISTRITO: ESPINAR	Dra. Josefina Escalante Gutierrez	JUNIO-2024
PROVINCIA: ESPINAR	ELABORADO POR:	MAPA:
REGION: CUSCO	Br. ANGEL RODRIGO MOLLEHUANCA PABLO	TES-8.1
PROYECCIÓN: UTM - WGS 84	Br. JESUS OUSPE CARDENAS	
ESCALA: INDICADA		

6.3. BALANCE HÍDRICO

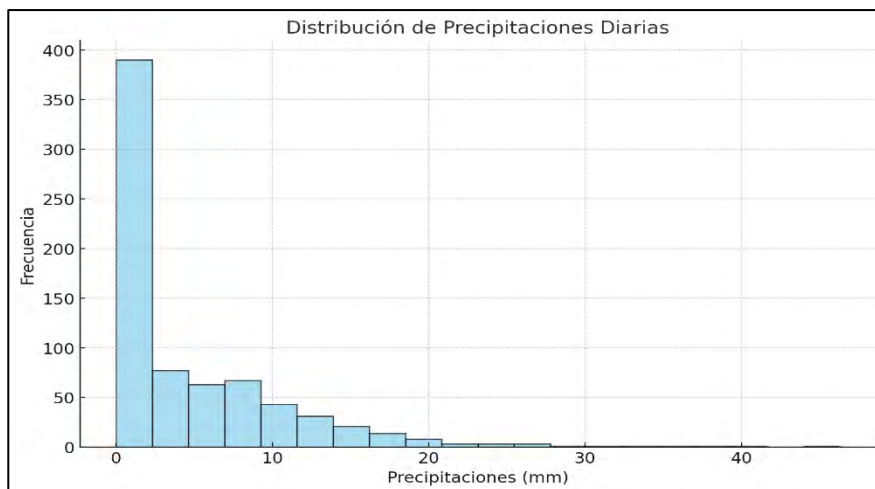
Para realizar el balance hídrico en la cuenca, se inició analizando las precipitaciones diarias registradas durante los periodos de 2022 y 2023. Estos datos fueron procesados para calcular estadísticas como la precipitación media, mínima, máxima y total anual en cada periodo. Posteriormente, se generaron mapas de isoyetas que representan la distribución espacial de la precipitación dentro de la cuenca.

Con base en las precipitaciones y el área de la cuenca (143.60 km²), se estimó la esorrentía superficial anual. Para ello, se utilizó un coeficiente de esorrentía adecuado al tipo de suelo y cobertura vegetal de la cuenca. Este análisis permite evaluar el comportamiento hidrológico y determinar los volúmenes de agua disponibles para diferentes usos, así como identificar patrones interanuales de las precipitaciones.

Adicionalmente, se crearon gráficos que ilustran la variabilidad temporal de las precipitaciones diarias y anuales, facilitando una interpretación visual de las tendencias en los dos periodos analizados.

Figura 11

Datos estadísticos de precipitación analizada en la cuenca



Fuente: Elaboración propia

Estadísticas descriptivas de las precipitaciones:

Cantidad de días analizados: 730 días.

Precipitación promedio: 4.63 mm/día.

Precipitación máxima: 46.30 mm/día.

Precipitación mínima: 0.00 mm/día.

Desviación estándar: 6.23 mm/día.

Percentiles:

-25%: 0.1 mm/día.

-50% (mediana): 1.8 mm/día.

-75%: 7.3 mm/día.

Se observa que la mayoría de los días tienen precipitaciones bajas, con algunos eventos extremos que alcanzan hasta 46.3 mm/día.

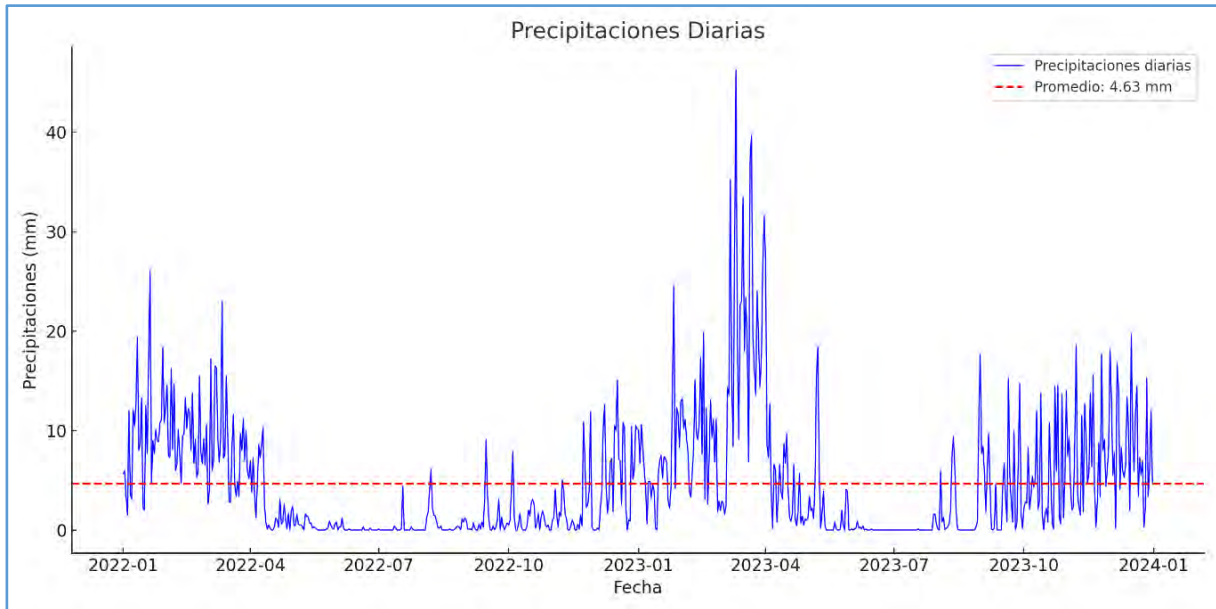
A continuación, el caudal hipotético para la cuenca de 143 km² utilizando el método de escorrentía directa.

- **Caudal promedio:** 3.29 m³/s, considerando una precipitación promedio diaria de 4.63 mm y un coeficiente de escorrentía del 50%.
- **Caudal máximo:** 32.96 m³/s, correspondiente a un evento de precipitación máxima de 46.3 mm/día.

Estos valores son aproximados y dependen de supuestos como el coeficiente de escorrentía, que podría variar según el tipo de suelo, la cobertura vegetal y la pendiente de la cuenca. Si necesita ajustes adicionales en los parámetros o gráficos específicos, puedo elaborarlos.

Figura 12

Datos de precipitación analizada en la cuenca



Fuente. Elaboración propia

Teniendo en cuenta la hidrogeología se realiza el balance hídrico considerando las características hidrogeológicas de la cuenca y distribuyendo los componentes del balance según los tipos de acuíferos (no consolidados y volcánicos fisurados). El balance incluye entradas, salidas y almacenamiento de agua. Para ello primero, definiremos los supuestos teóricos y luego se presentan los cálculos con cuadros y gráficos.

Para el análisis del balance hídrico primero se consideró una precipitación anual promedio de 4.63 mm/día, equivalentes a 1690 mm/año.

La distribución de precipitaciones fue la siguiente:

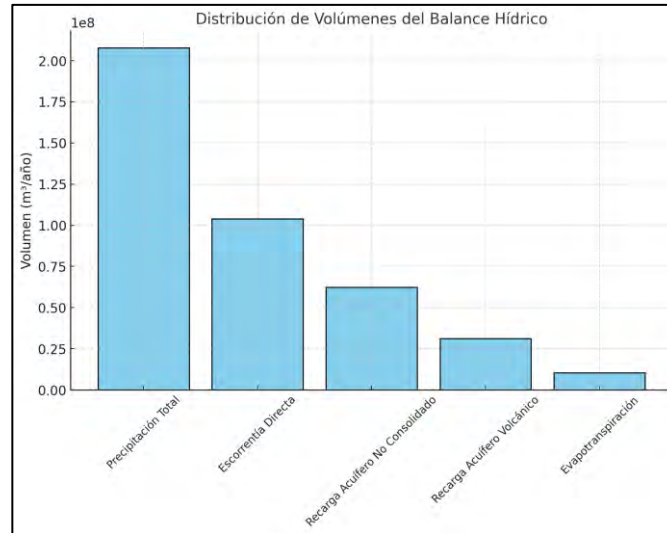
- 50% escorrentía directa.
- 30% recarga en acuíferos no consolidados.
- 15% recarga en acuíferos volcánicos fisurados.

- 5% pérdidas por evapotranspiración.

El gráfico presentado muestra la distribución porcentual de los volúmenes de agua en cada componente.

Figura 13

Distribución de volúmenes del balance hídrico



Fuente: Elaboración propia

Tabla 20

Volúmenes del balance hídrico

Componente	Volumen (m³/año)
Precipitación Total	207,777,750.0
Escurrentía Directa	103,888,875.0
Recarga Acuífero No Consolidado	62,333,325.0
Recarga Acuífero Volcánico	31,166,662.5
Evapotranspiración	10,388,887.5

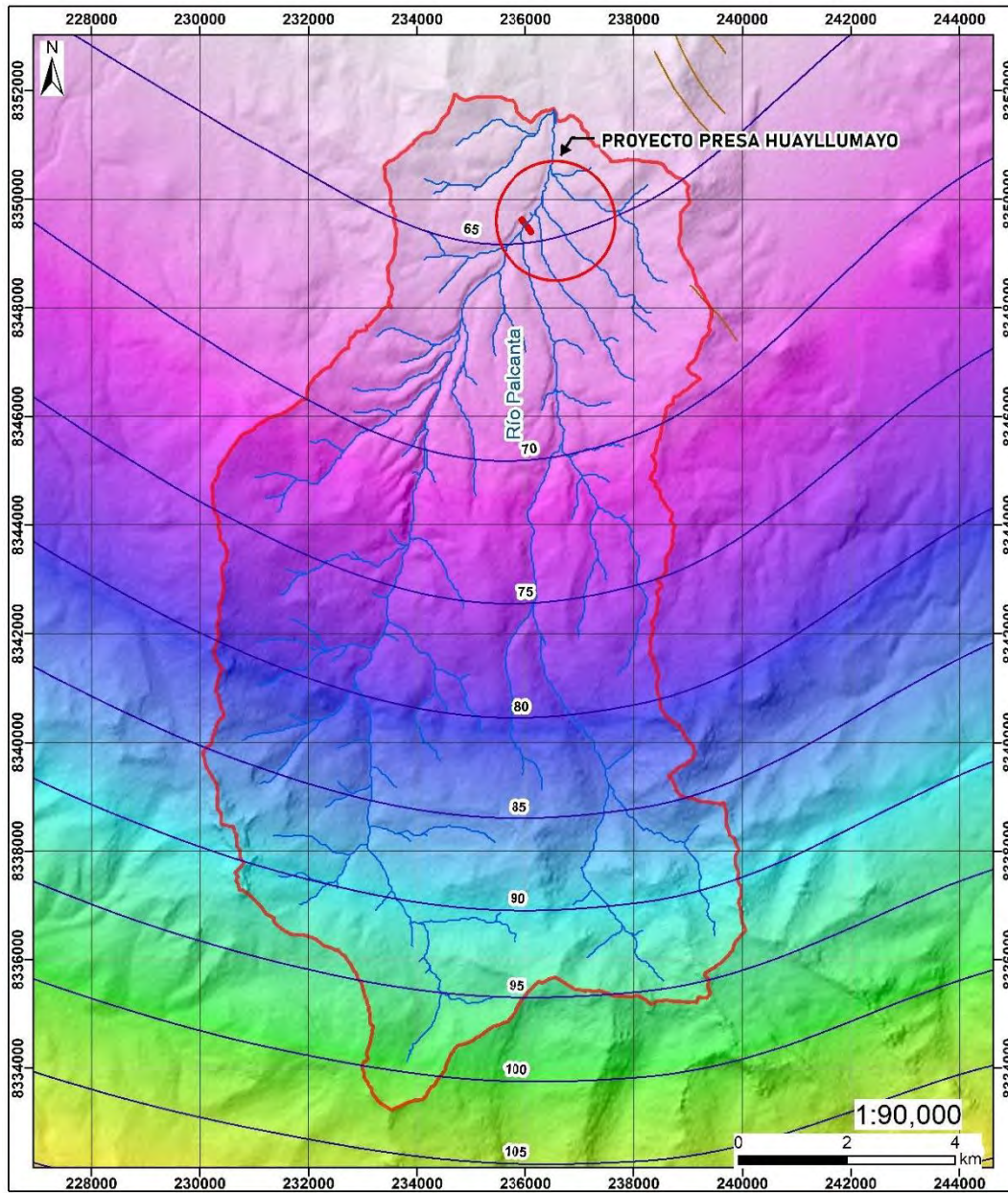
Fuente: Elaboración propia

Los resultados muestran que:

- **Escorrentía directa** representa el mayor porcentaje, con un volumen significativo que podría ser aprovechado para usos como almacenamiento en represas.
- **Recarga acuífera** (45% del total) resalta la importancia de los acuíferos para la regulación hídrica y abastecimiento subterráneo.
- **Evapotranspiración** es relativamente baja debido al clima y características locales.

Con base en el balance hídrico, la construcción de una represa en la cuenca de 143 km² sería viable desde el punto de vista hídrico, ya que la precipitación total anual genera un volumen estimado de 207.78 millones de m³ de agua, de los cuales aproximadamente el 50% (103.89 millones de m³/año) corresponde a escorrentía directa, la principal fuente aprovechable para el represamiento. Este volumen de escorrentía es significativo y suficiente para garantizar una disponibilidad hídrica sostenible, especialmente si se considera el diseño de una represa con capacidad para almacenar este caudal anual o una fracción significativa del mismo. Además, la recarga a los acuíferos no consolidados (62.33 millones de m³/año) y volcánicos fisurados (31.17 millones de m³/año) contribuye a la regulación hídrica de la cuenca, proporcionando un balance entre agua superficial y subterránea, lo que reduce el riesgo de agotamiento de recursos hídricos durante períodos secos. Sin embargo, es fundamental realizar estudios más detallados de campo, considerando la geología y los suelos. Si se diseña adecuadamente, una represa podría almacenar entre 50 y 100 millones de m³/año, dependiendo de su capacidad y el manejo del agua, con potencial para abastecer riego agrícola, consumo humano o generación de energía hidroeléctrica.

Mapa 7 Mapa de Isoyetas



Leyenda	
Valores	
	PP altas : 127.713
	PP bajas : 61.6137
	Isoyetas de precipitacion (mm) cada 5 mm

Simbología	
	Cotas primarias 20 m
	Cotas secundarias 20 m
	Río principal Palcanta
	Quebradas
	Fallas inferidas
	Eje de la presa

<p>UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO FACULTAD DE INGENIERIA GEOLOGICA, MINAS Y METALURGICA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA GEOLOGICA</p>		
TESIS: EVALUACION GEOLÓGICA-GEOTÉCNICA DE FACTIBILIDAD PARA LA AMPLIACION DE LA PRESA HUAYLLUMAYO MEDIANTE LA CONSTRUCCION DE UN NUEVO EJE DE PRESA, DISTRITO Y PROVINCIA DE ESPINAR, DEPARTAMENTO DE CUSCO-2024		
MAPA: ISOYETAS		
UBICACIÓN:	ASESOR:	FECHA:
DISTRITO: ESPINAR	Dra. Josefina Escalante Gutiérrez	JUNIO - 2024
PROVINCIA: ESPINAR	ELABORADO POR:	MAPA:
REGIÓN: CUSCO	Dr. ANGEL RODRIGO MOLLEHUANCA PABLO	
PROYECCIÓN: UTM - WGS 84	Dr. JESUS QUISPE CARDENAS	
ESCALA: INDICADA		TES-08

CAPITULO VII GEODINÁMICA

7.1. GEODINAMICA EXTERNA

La ocurrencia de los fenómenos de geodinámica externa está condicionada por factor es importante como la litología, estructuras geológicas, geomorfología y el clima. Los fenómenos naturales de origen geológico-climático son los que se presentan con frecuencia en la Provincia de Espinar.

La complejidad de los procesos de movimientos en masa requiere que para su análisis y representación sea necesario considerar tanto sus características espaciales como las temporales, conservando el objetivo importante de la evaluación y representación de la amenaza, es el análisis de riesgo para la gestión de emergencias o el ordenamiento territorial.

7.1.1. Caída de Rocas

La caída de rocas, según la clasificación de Varnes (1978), es un tipo de movimiento en masa caracterizado por el desprendimiento rápido de fragmentos de roca desde una pendiente empinada o vertical, seguido de un movimiento en caída libre, rodadura o rebote. Este fenómeno es común en rocas volcánicas fracturadas, como tobas o ignimbritas, debido a la presencia de planos de debilidad asociados a diaclasas, fisuras y zonas de contacto entre capas, las cuales se forman por procesos de enfriamiento, intemperismo y esfuerzos tectónicos. En estos contextos, factores como la meteorización, las variaciones térmicas y la infiltración de agua pueden reducir la cohesión del macizo rocoso, favoreciendo la inestabilidad.

Las caídas de rocas representan un peligro geológico significativo, especialmente en terrenos montañosos y áreas cercanas a infraestructuras, debido a la energía cinética

que adquieren los bloques en movimiento, lo que puede ocasionar daños estructurales y riesgos para la vida humana (Hoek & Bray, 1981; Wyllie & Mah, 2004). Para mitigar este peligro, es fundamental implementar medidas de control como mallas metálicas, barreras dinámicas y sistemas de drenaje, además de un monitoreo geotécnico constante.

Caracterización Litológica de Ambos Estribos

Las rocas ignimbritas son rocas volcánicas compuestas por cenizas piroclásticas soldadas, con una textura vítrea y porosa. Se caracterizan por su baja densidad y resistencia a la compresión, lo que las hace propensas a la fracturación y caída de bloques. La geología de la caldera Caylloma muestra un macizo rocoso con evidencias de fracturamiento, lo que contribuye a la inestabilidad de la zona y la caída de rocas en el área de estudio.

Geometría del Macizo Rocosos

- Estribo derecho: Altura de 20 m
- Estribo izquierdo: Altura de 14 m
- Los bloques tienen formas tabulares, con diámetros que oscilan entre 2.5 y 2.6 m.
- La caída de bloques se debe al fracturamiento del macizo, favorecido por el desarrollo de planos de debilidad asociados a fracturas y diaclasas.

7.1.2. Soluciones Geotécnicas

Reforzamiento con anclajes

Colocación de anclajes pasivos o activos en los planos de fractura principales para limitar el movimiento de los bloques.

Uso de mallas metálicas

Instalar mallas de retención que cubran las áreas críticas de inestabilidad en los estribos.

Shotcrete (concreto proyectado)

Aplicar concreto proyectado en áreas fracturadas para incrementar la cohesión y reducir el riesgo de desprendimientos.

Drenaje superficial y subterráneo

Evitar la infiltración de agua que puede generar presiones de poro y reducir la estabilidad del macizo. Esto incluye:

Instalación de drenes horizontales.

Diseño de canales para desviar flujos de agua superficial.

Control del intemperismo:

Aplicar recubrimientos químicos o tratamientos superficiales para reducir la meteorización de las ignimbritas.

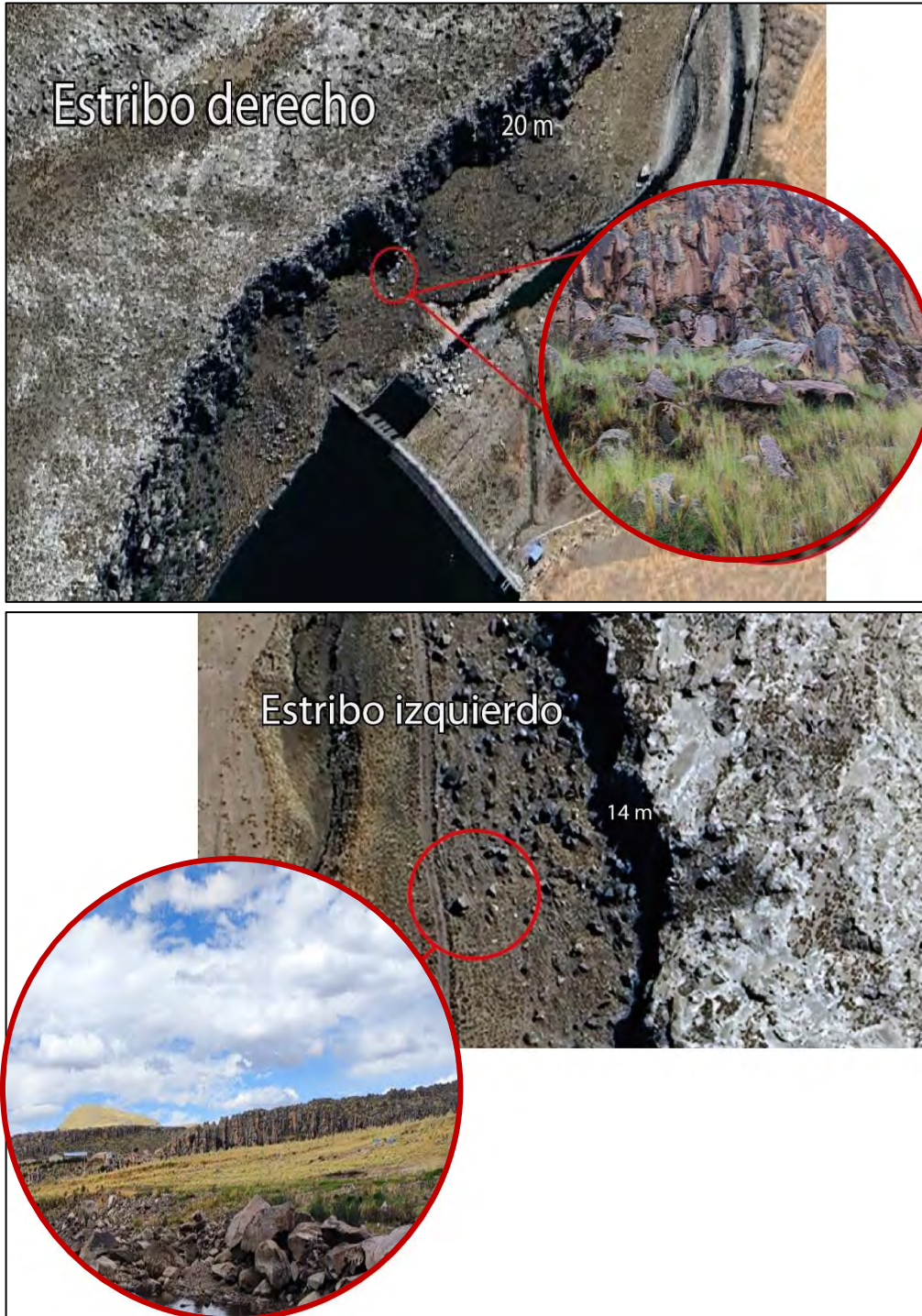
Monitoreo continuo

Implementar sistemas de monitoreo geotécnico (como medidores de desplazamiento y sensores piezométricos) para evaluar cambios en la estabilidad del macizo.

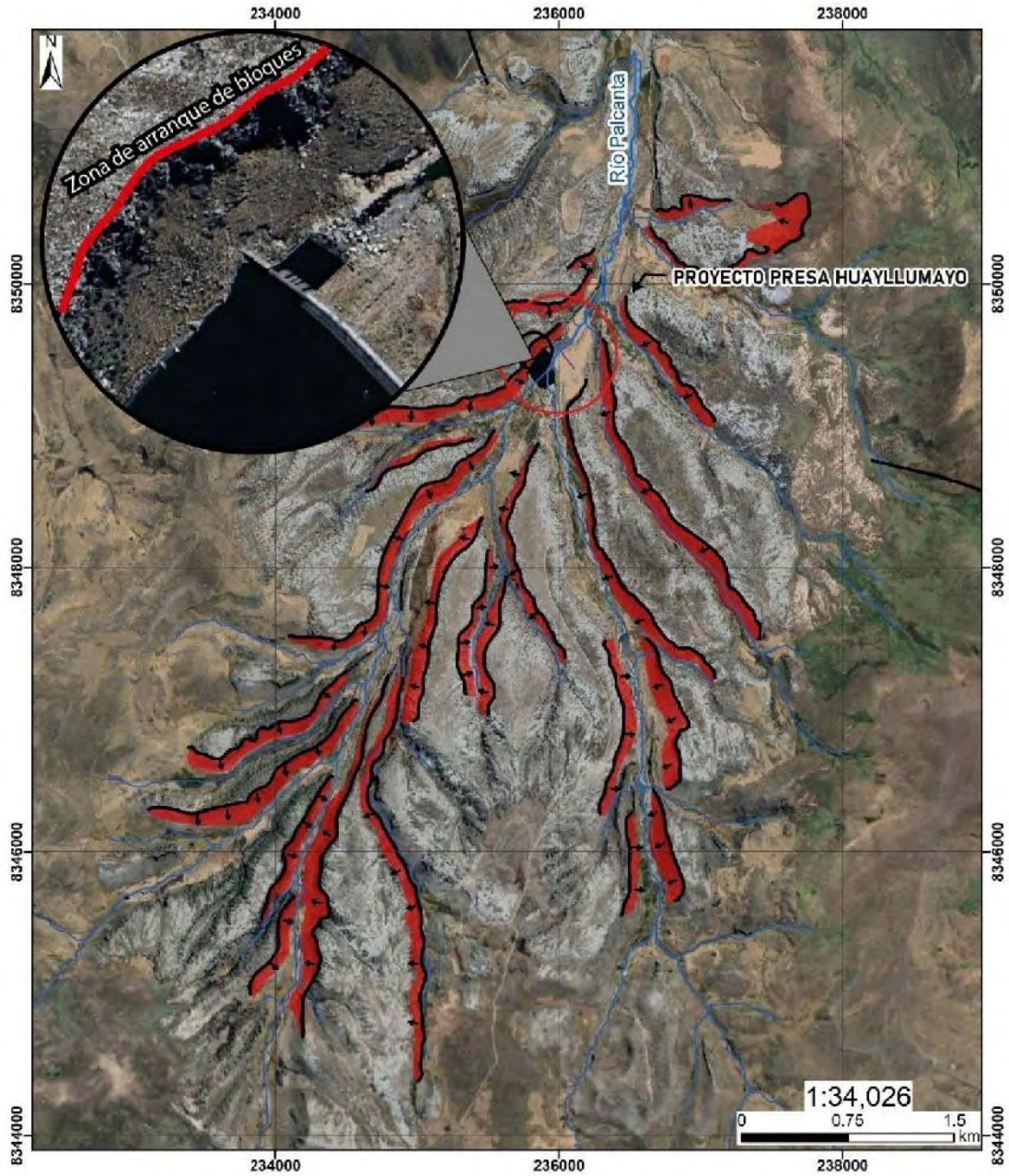
La inestabilidad está principalmente asociada al fracturamiento del macizo rocoso, acentuado por la anisotropía de las ignimbritas y las condiciones climáticas.

Fotografía 7

Caída de rocas en estribo derecho e izquierdo



Mapa 8 Mapa de Geodinamica Externa



Leyenda	
	Zona de susceptible a caída de rocas
	Dirección de caída de bloques

Simbología	
	Cotas primarias 20 m
	Cotas secundarias 20 m
	Río principal Palcanta
	Quebradas
	Fallas inferidas
	Eje de presa

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO		
FACULTAD DE INGENIERIA GEOLOGICA, MINAS Y METALURGICA		
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA GEOLOGICA		
TÍTULO: EVALUACION GEOLÓGICA-GEOTÉCNICA DE FACTIBILIDAD PARA LA AMPLIACION DE LA PRESA HUAYLLUMAYO MEDIANTE LA CONSTRUCCION DE UN NUEVO EJE DE PRESA, DISTRITO Y PROVINCIA DE ESPINAR, DEPARTAMENTO DE CUSCO-2024		
MAPA: GEODINAMICA EXTERNA		
UBICACIÓN	ASESOR	FECHA
DISTRITO: ESPINAR	Dra. Jovetina Escalante Gutierrez	JUNIO 2024
PROVINCIA: ESPINAR	ELABORADO POR:	MAPA:
REGION: CUSCO	Dr. ANGEL RODRIGO MOLLENHANCA PABLO	
PROYECCIÓN: UTM - WGS 84	Dr. JESUS QUIRPE CARDENAS	TES-09
ESCALA: INDICADA		

7.2. GEODINAMICA INTERNA

La recurrencia sísmica es generalmente alta debido a la geodinámica interior intraplaca, que está relacionada con los eventos sísmicos y la elevación continua de los Andes.

Las fallas que se originan por la geodinámica interna en la zona, tienen una orientación principalmente NW-SE, con fallas tensionales con dirección NE-SW, produciendo anticlinales y sinclinales.

La Provincia de Espinar se ubica al borde de la zona Noreste de gran concentración de sismos intermedios a bajos, cuyo borde occidental sigue la línea de costa desde Lima hasta la frontera con Chile y cuyo borde oriental pasa cercano a la orilla norte del Lago Titicaca.

Zonificación

El territorio nacional se considera dividido en cuatro zonas, como se muestra en la Figura 14, Actualmente se tiene una normativa técnica con respecto a la zonificación sísmica, la zonificación propuesta se basa en la distribución especial de la sismicidad observada, las características generales de los movimientos sísmicos y la atenuación de éstos con la distancia epicentral, así como en información neotectónica.

Tabla 21

Coeficiente de factores de Zona

COEFICIENTE SÍSMICO PROPUESTO PARA PRESAS PEQUEÑAS Y MEDIANAS		
ZONA	PRESAS DE TIERRA	PRESAS DE ENROCADO
I	0.15 - 0.25	0.10 – 0.20
II	0.10 - 0.15	0.05 – 0.10
III	0.05 - 0.10	0.05

Fuente: Ruesta, P., Diaz. J. Y Alva, J., 1988

Figura 14

Zonificación Sísmica del Perú (RNC, 2016)



Fuente: Decreto Supremo N° 002-2014-vivienda

Tabla 22

Parámetros Sísmicos

Factor de zona	Z	0.258
Perfil de suelo tipo	T	S2
Periodo predominante	Tp	0.6
Factor de ampliación del suelo	S	1.2

Fuente: MINEM, E-0.30-2016); RNC 2016

Tabla 23

Factores de zona "Z"

Zona	Z
4	0.45
3	0.35
2	0.258
1	0.10

Fuente: MINEM, E-030-2016

Condiciones Geotécnicas

Según la tabla 24, para los efectos de esta Norma, los perfiles de suelo se clasifican tomando en cuenta las propiedades mecánicas del suelo, el espesor del estrato, el período fundamental de vibración y la velocidad de propagación de las ondas de corte. Los tipos de perfiles de suelos son cuatro:

- a) Perfil tipo S1: Roca o suelos muy rígidos
- b) Perfil tipo S2: Suelos intermedios.
- c) Perfil tipo S3: Suelos flexibles o con estratos de gran espesor.
- d) Perfil Tipo S4: Condiciones excepcionales

En la zona de estudio se ha determinado el Perfil tipo S2 en dique y en línea se trazó que son suelos intermedios.

Tabla 24

Parámetros de suelo

Tipo	Descripción	Tp(S)	S
S1	Roca o suelos muy rígidos	0.4	1.0
S2	Suelos intermedios	0.6	1.2
S3	Suelos flexibles o con estratos de gran espesor.	0.9	1.4
S4	Condiciones excepcionales	*	*

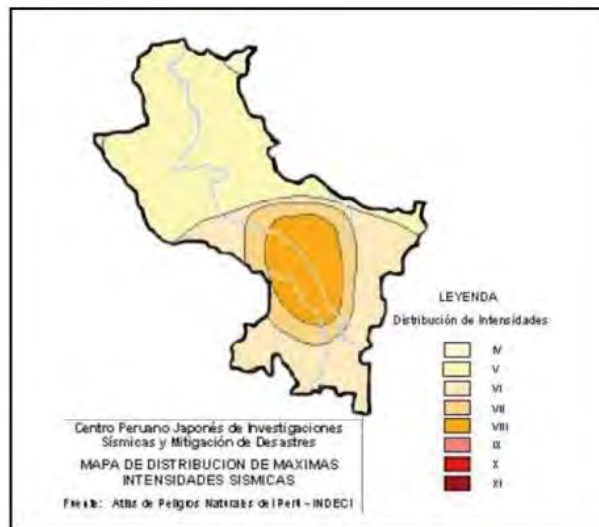
Fuente: RNC 2016

Sismicidad

El término sismicidad representa la calidad sísmica o normal de un área y se comunica en la cantidad de temblores por unidad de región o volumen y por unidad de tiempo, el método de evento y sus consecuencias para la superficie.

Figura 15

Mapa de distribución de Máximas Intensidades Sísmicas del Dpto. del Cusco



Fuente: INDECI

Las fallas que se originan por la geodinámica interna en la zona de estudio tienen una orientación principalmente NW-SE, con fallas tensionales con dirección NE-SO, produciendo anticlinales y sinclinales.

Peligrosidad Sísmica en el sur del Perú

La información más reciente referida a peligrosidad sísmica para la zona se encuentra en la ponencia "Peligrosidad Sísmica en el Sur del Perú" (D. López y J. Olarte -CISMID - UNI - 2001) en la que se realiza un análisis de la distribución espacial de la sismicidad tanto en planta como en profundidad, así como un análisis estadístico que establece gráficas y ecuaciones de períodos de retorno para trabajos de predicción sísmica. Para el área estudiada, dicha evaluación establece:

-Sismos de foco superficial (Profundidad hasta 60 Km): Total: 408 sismos

Probabilidad de Ocurrencia

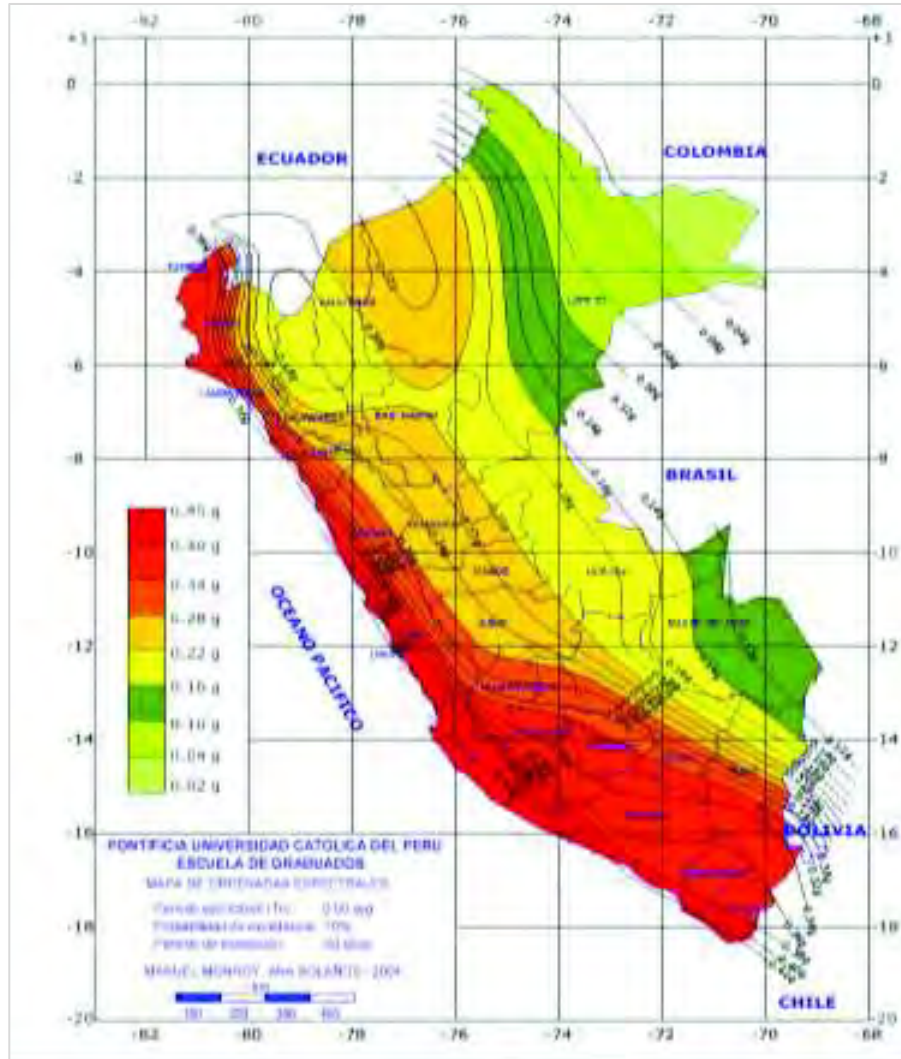
La probabilidad de ocurrencia de un sismo de $m_b \geq 6.5$ dentro de un período de 100 años llega a ser del 80%.

Curvas de Intensidades Máximas

Distribución de ordenadas espectrales para el Perú correspondientes a un periodo estructural normal y periodo de retorno de 475 años.

Figura 16

Distribución de Ordenadas Espectrales



Sismicidad de la zona

La zona de estudios se localiza en la Zona 2 del mapa de zonificación sísmica del Perú y corresponde a una zona de sismicidad intermedia. De acuerdo a las características del subsuelo de cimentación, según la Norma de diseño sismo resistente (RNE E-030), se tomaron los siguientes valores para el área del presente proyecto:

Tabla 25

Parámetros Sísmicos para el área de estudio

PARAMETRO DE DISEÑO	MAGNITUD	DESCRIPCION
Zona	2	Mapa de Zonificación Sísmica
Factor de zona (Z)	0.258	Tabla 14
Tipo de perfil	Tipo S2	Suelos flexibles
Parámetros del suelo	$T_p = 0.6$ $S = 1.2$	Periodo predominante Factor de Ampliación del suelo
Categoría de la edificación	A	Estructuras Esenciales
Factor de Uso (U)	1.5	Tabla N°5 de la E.030
Factor de seguridad	3	Para la cap. Admisible

Fuente: Elaboración propia

7.3. PELIGRO SÍSMICO

El mapa de peligros sísmicos es una herramienta fundamental en la planificación territorial y la mitigación de desastres. Este tipo de mapa se genera al integrar datos del V_{s30} (velocidad de ondas de corte a 30 metros de profundidad), que es un parámetro crucial para caracterizar las propiedades dinámicas del suelo, con la litología detallada de un mapa geológico local. Este enfoque permite identificar áreas con mayor susceptibilidad a la amplificación sísmica y posibles daños estructurales durante un evento sísmico.

Se tomó como base el mapa geológico local, el cual incluye una clasificación detallada de las unidades litológicas y estructuras tectónicas presentes en la zona de estudio. Este mapa se empleó como referencia para definir los materiales del subsuelo y sus propiedades.

7.3.1. Determinación del Vs30:

El cálculo del Vs30 se realizó a partir de:

- **Datos directos:** Mediciones de velocidades de ondas de corte obtenidas mediante métodos geofísicos como MASW (Multichannel Analysis of Surface Waves) o sísmica de refracción.
- **Estimaciones empíricas:** Para áreas sin mediciones directas, se utilizó información de estudios previos y correlaciones empíricas que relacionan la litología con el Vs30.

Con los valores obtenidos, se clasificaron las zonas según la normativa internacional NEHRP (National Earthquake Hazards Reduction Program), que define categorías de suelo en función de su capacidad para amplificar ondas sísmicas:

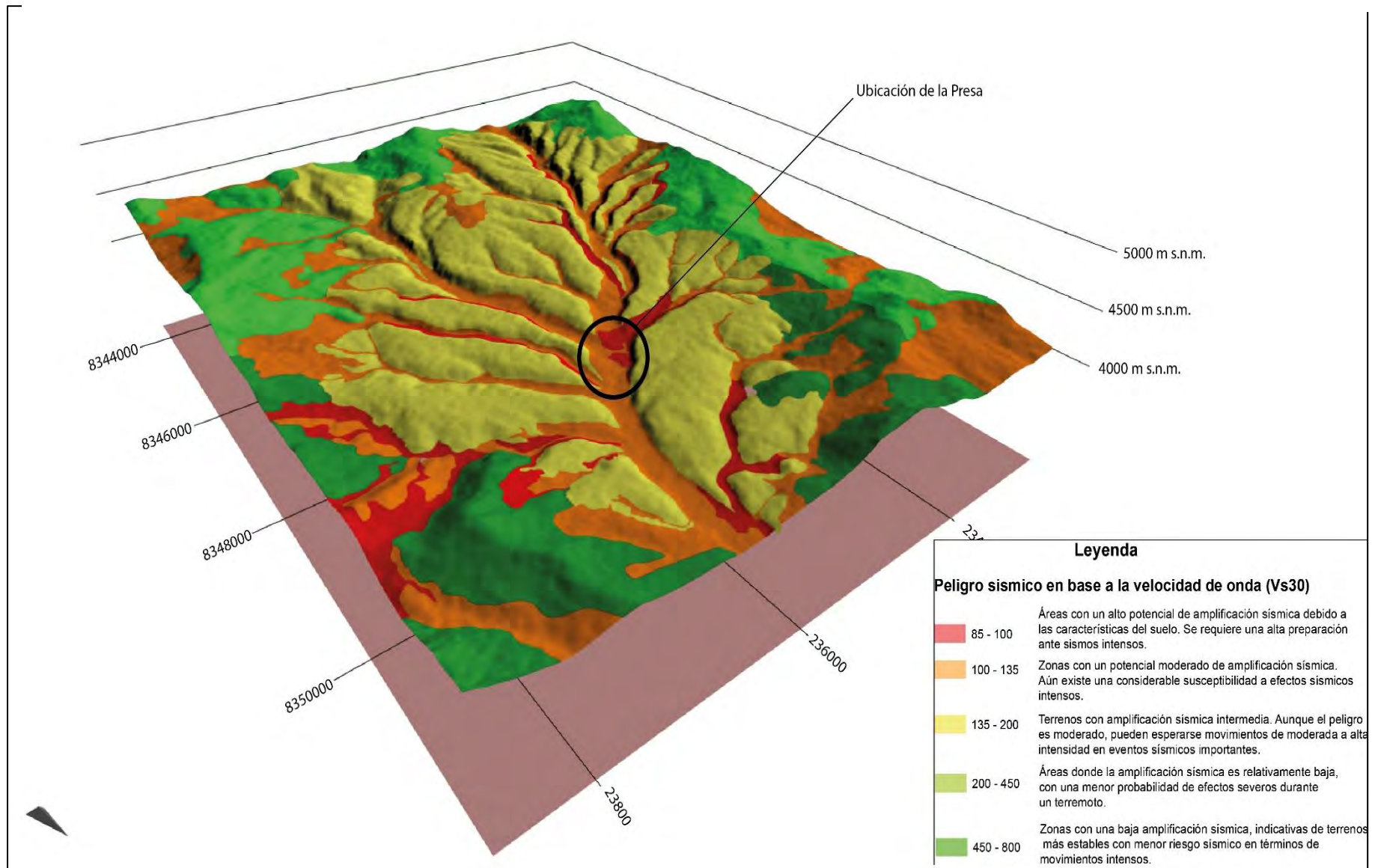
- Clase A (Roca dura): $Vs30 > 1500$ m/s
- Clase B (Roca blanda): $760 \text{ m/s} < Vs30 \leq 1500$ m/s
- Clase C (Suelo denso o roca blanda): $360 \text{ m/s} < Vs30 \leq 760$ m/s
- Clase D (Suelo blando): $180 \text{ m/s} < Vs30 \leq 360$ m/s
- Clase E (Suelo muy blando): $Vs30 \leq 180$ m/s

Se superpusieron los datos del Vs30 con la información litológica para establecer una relación directa entre las propiedades dinámicas del suelo y los tipos de material geológico. Las áreas con menor Vs30 y litologías blandas (arcillas, arenas sueltas, depósitos aluviales recientes) se identificaron como las más susceptibles a amplificaciones sísmicas. Finalmente Utilizando un sistema de información geográfica (SIG), se generó un modelo espacial que representa las categorías del Vs30 y la litología, destacando las zonas con mayor peligrosidad sísmica. El mapa final incluye capas temáticas que diferencian las áreas de mayor y menor susceptibilidad.

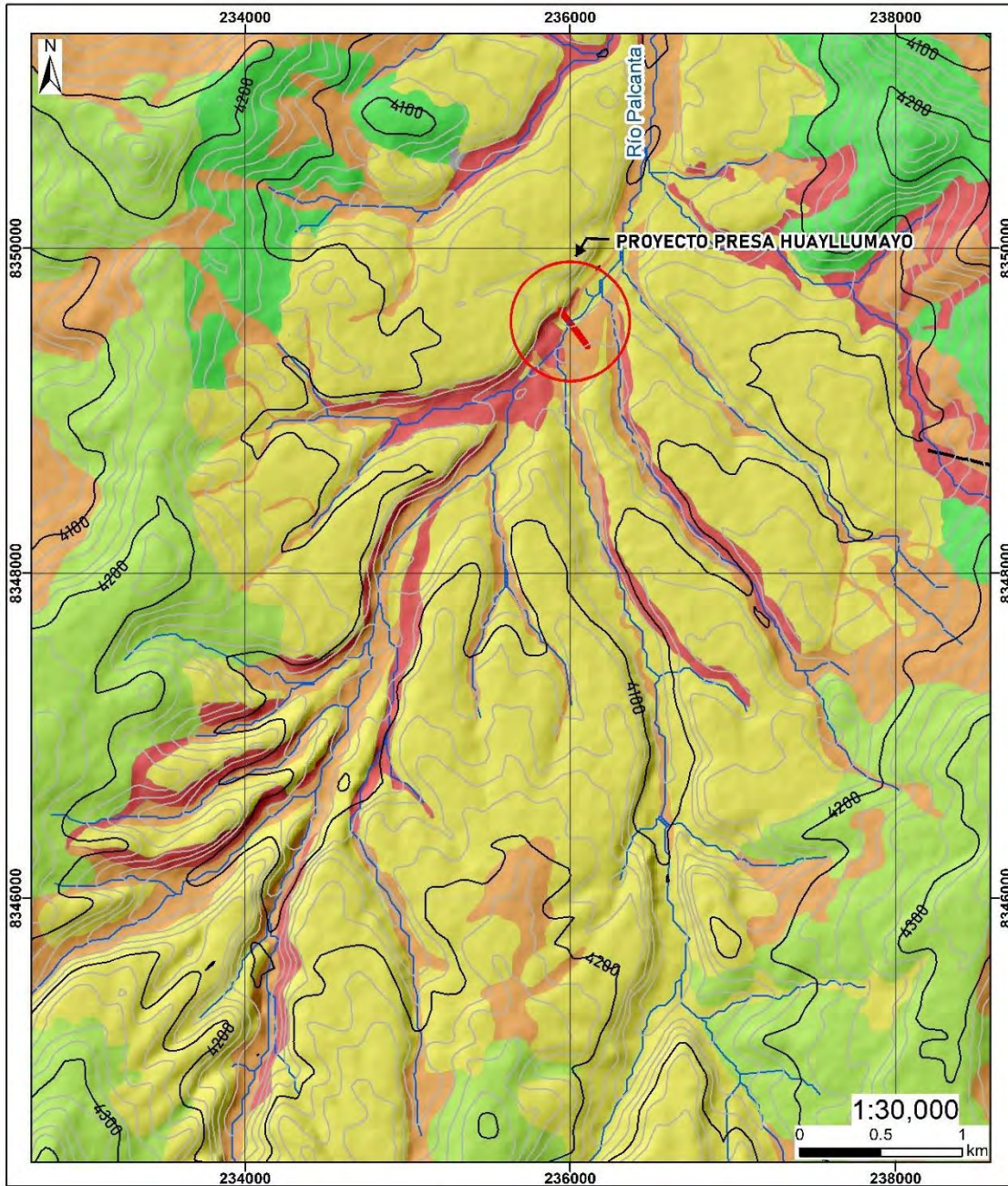
El mapa resultante permite identificar zonas críticas donde las condiciones del suelo podrían amplificar los efectos de un sismo. Estas áreas están principalmente asociadas a depósitos cuaternarios recientes y suelos con bajo V_{s30} , mientras que las formaciones rocosas compactas mostraron menor susceptibilidad.

El factor Z, conocido como Coeficiente Sísmico, representa la aceleración máxima esperada en el terreno debido a un sismo, expresada como una fracción de la aceleración gravitacional (g). Este valor varía dependiendo de la región y su sismicidad. Sin embargo, el valor del V_s (velocidad de ondas de corte) no está directamente relacionado con el factor Z, sino más bien con las propiedades del suelo y su capacidad de amplificación sísmica (mapa 9)

Mapa 9 Visualización 3D del mapa de peligro sísmico estimado de la aceleración Vs30



Mapa 10 Mapa de Peligro Sísmico basada en Vs30



Leyenda		Simbología		UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO		
Peligro sísmico en base a la velocidad de onda (Vs30)				FACULTAD DE INGENIERIA GEOLOGICA, MINAS Y METALURGICA		
MUY ALTO	85 - 100	—	Cotas primarias 20 m	ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA GEOLOGICA		
ALTO	100 - 135	—	Cotas secundarias 20 m	TÍTULO: EVALUACION GEOLÓGICA-GEOTÉCNICA DE FACTIBILIDAD PARA LA AMPLIACION DE LA PRESA HUAYLLUMAYO MEDIANTE LA CONSTRUCCION DE UN NUEVO EJE DE PRESA, DISTRITO Y PROVINCIA DE ESPINAR, DEPARTAMENTO DE CUSCO-2024		
MEDIO	135 - 200	—	Río principal Palcanta	AUTOR: PELIGRO SISMICO Vs30		
BAJO	200 - 450	—	Quebradas	UBICACIÓN	asesor	FECHA
MUY BAJO	450 - 800	—	Fallas inferidas	DISTRITO: ESPINAR	Dra. Josefina Escalante Gutierrez	JUNIO - 2024
		—	Eje de la presa	PROVINCIA: ESPINAR	ELABORADO POR	MAPA
				REGION: CUSCO	Dr. ANGEL RODRIGO MOLLEHUANCA PABLO	TES-11
				PROYECCION: UTM - WGS 84	Dr. JESUS GUSPE CARDENAS	
				ESCALA: INDICADA		

Los resultados del análisis del coeficiente sísmico revelaron un valor de $Z = 0.258$, lo que confirma que la zona estudiada presenta una sismicidad moderada. Este valor indica que la aceleración máxima esperada en el terreno equivale al 25% de la aceleración gravitacional (g), evidenciando amplificación sísmica intermedia. Aunque el valor de Z no tiene una correlación directa con el $Vs30$, su integración en el análisis permite contextualizar mejor las condiciones del terreno.

El mapa de peligros sísmicos elaborado, basado en la distribución del $Vs30$, revela que la presa estudiada se encuentra ubicada en una zona clasificada con niveles de peligro sísmico medio a alto. Los resultados indican que los valores de $Vs30$ en esta área oscilan entre 100 m/s y 200 m/s, lo que corresponde a suelo denso o roca blanda, susceptibles a amplificar las ondas sísmicas. Este rango sugiere una mayor propensión a fenómenos como la amplificación local y el aumento de deformaciones durante un sismo.

La interacción de estos factores subraya la necesidad de implementar medidas de mitigación adecuadas para garantizar la seguridad estructural de la presa, así como realizar estudios geotécnicos más detallados en el área circundante. Además, los resultados respaldan la importancia de considerar tanto el peligro sísmico intrínseco como las características dinámicas del suelo en la planificación y diseño de infraestructuras críticas en zonas de alta sismicidad.

La tabla de correlación geológica y su correspondiente valor de aceleración sísmica y nivel de peligro asignado se presentan a continuación:

Tabla 26

Correlación Geológica, aceleración sísmica y nivel de peligro estimado

ITEM	Unidad Geologica	Vs_30 (considerado)	Peligro estimado
1	Depósito aluvial	180	Peligro Medio
2	Depósito coluvial	100	
3	Depósito coluvio-deluvial	120	
4	Depósito fluvio glaciar	135	Peligro alto a Muy alto
5	Depósito fluvio glaciar	135	
6	Depósito glaciar	135	
7	Depósito lacustre	85	
8	Depósito lacustre	85	
9	Fm Arcurquina (Calizas grises)	800	Peligro Bajo
10	Gpo. Barroso - Caldera Caylloma	200	Peligro Medio
11	Grupo Tacaza (Andesitas)	450	Peligro Medio

Fuente: Elaboración propia

7.4. PELIGRO SISMICO PROBABILISTICO (PSHA)

El análisis de peligro sísmico probabilístico (PSHA) permite estimar la probabilidad de que un sitio experimente un nivel determinado de movimiento sísmico en un periodo de tiempo específico.

Para el análisis de peligro sísmico probabilístico se utilizó la nueva configuración de fuentes sismogénicas definidas por Gamarra, C. (2009); y se aplicaron las leyes de atenuación propuestas por Youngs et al (1997) y Sadigh et al. (1997) para sismos de subducción y continentales respectivamente

Los resultados entregan curvas de peligro que sirven de base para el diseño sísmo-resistente y la seguridad geotécnica de la infraestructura propuesta.

7.4.1. Evaluación de Catálogos Sísmicos (1471 – 2023)

Se recopiló el catálogo sísmico combinado de eventos históricos (1471–1982) e instrumentales (1960–2023) dentro de un radio de 200 km desde la presa.

Ilustración 1

Sismicidad con foco superficial para el período 1471 - 1960 ($h \leq 60$ km)

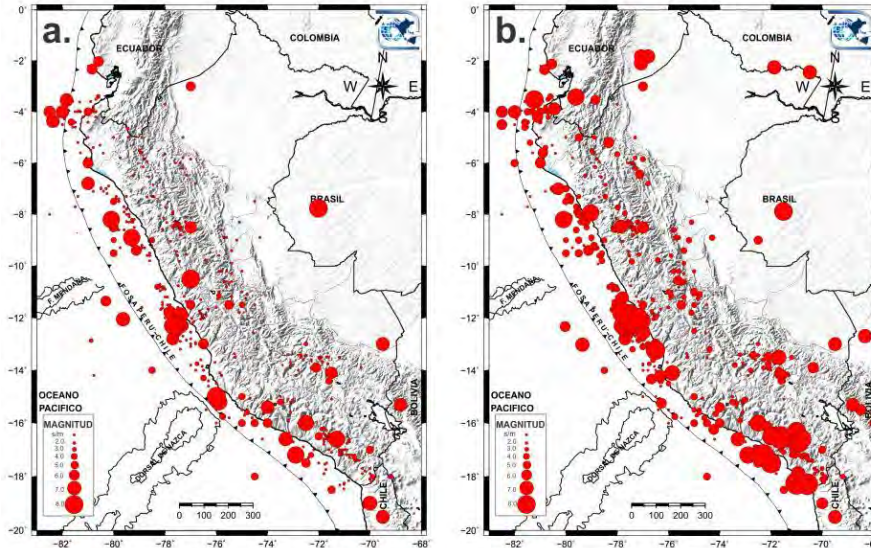


Ilustración 2

Sismicidad con foco intermedio para el período 1471 - 1960 ($60 \leq h \leq 300$ km)

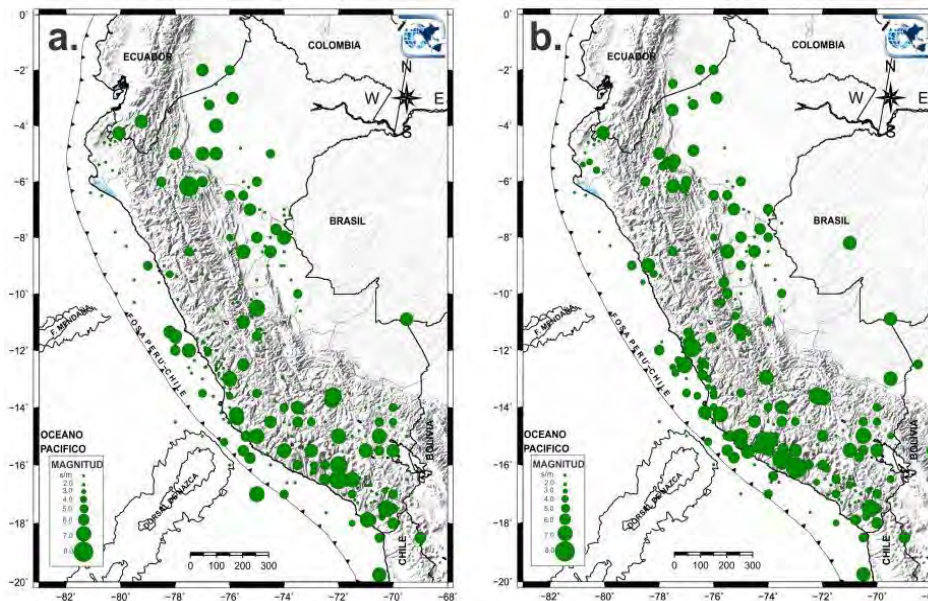


Ilustración 3

Sismicidad con foco profundo para el período 1471 - 1960 ($h \geq 300$ km)

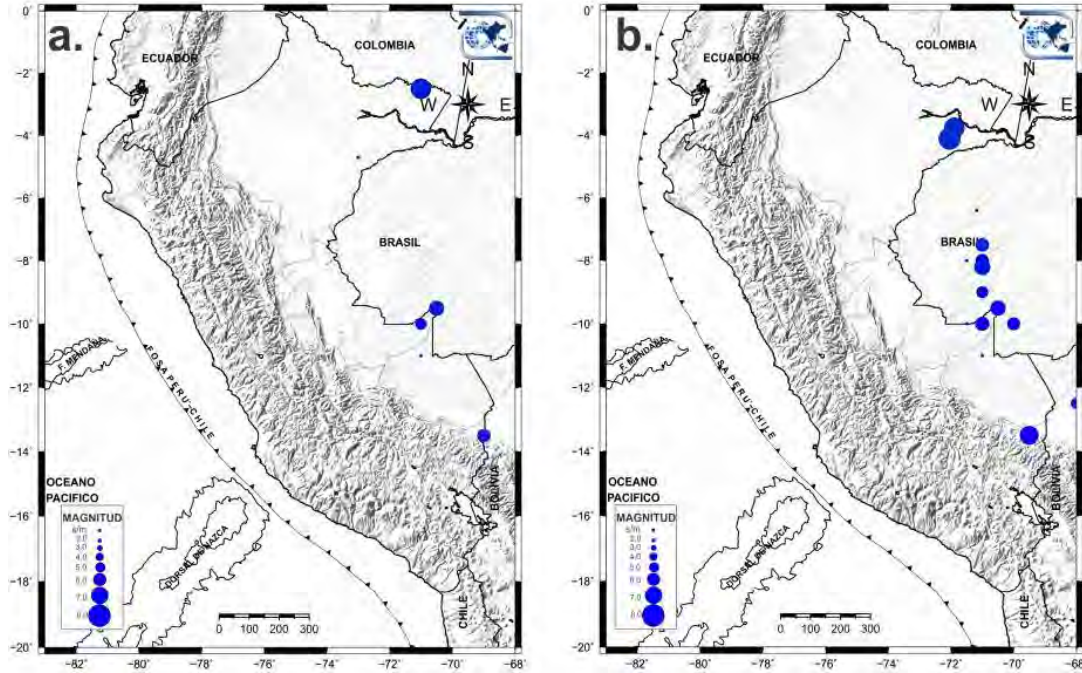


Ilustración 4

Sismicidad con foco superficial para el período 1961 - 1982 ($h \leq 60$ km)

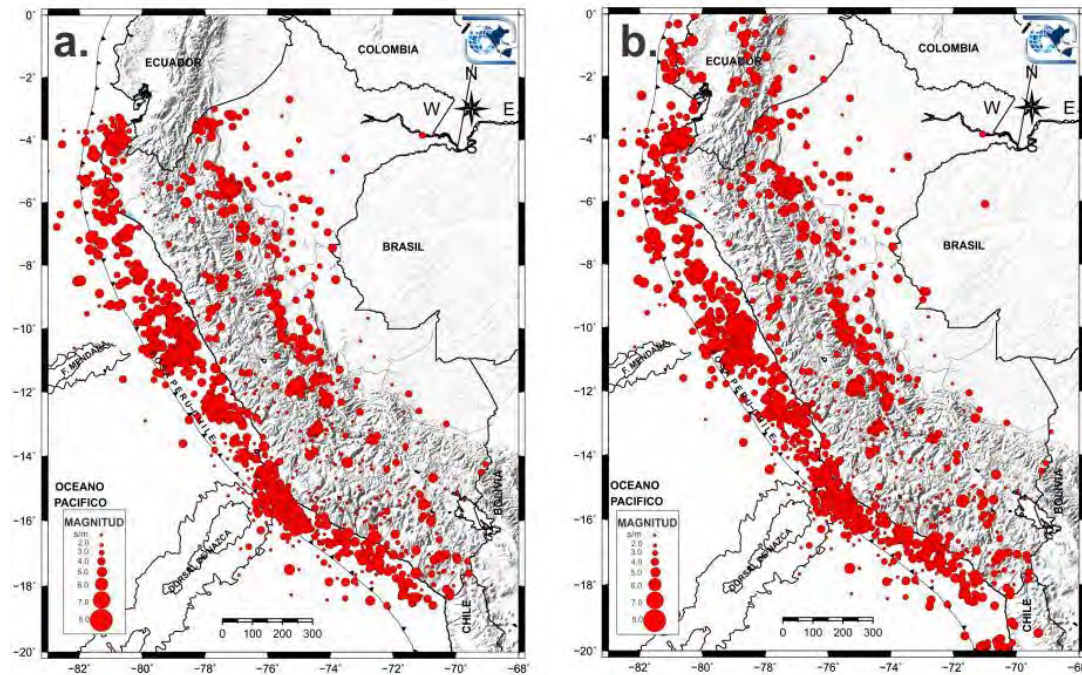


Ilustración 5

Sismicidad con foco intermedio para el período 1961 - 1982 ($60 \leq h \leq 300$)

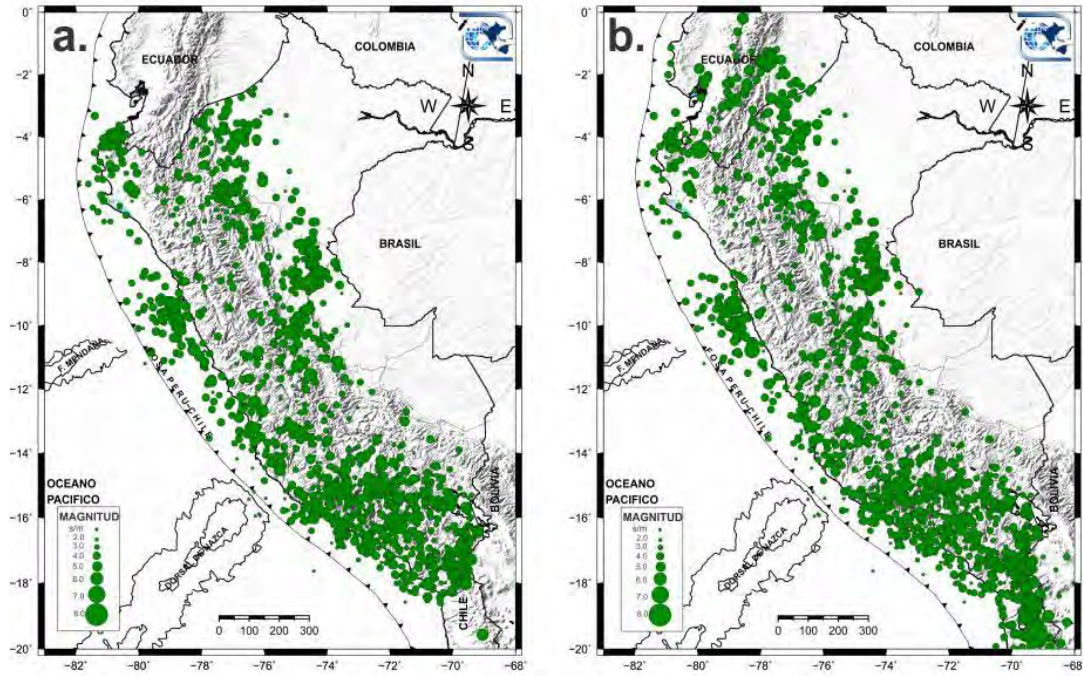
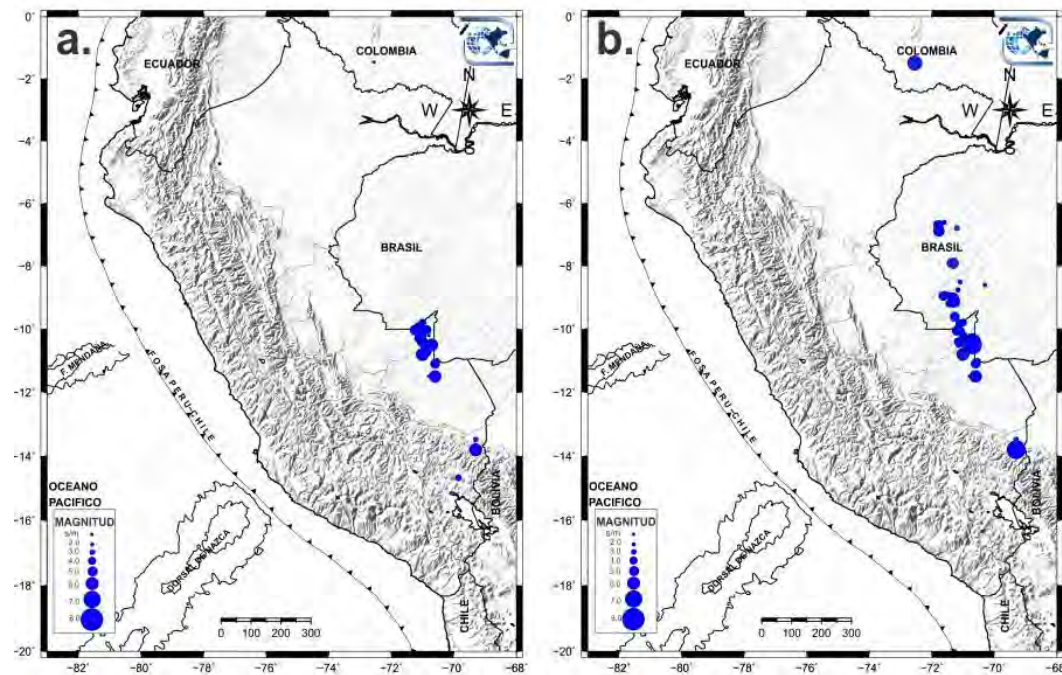


Ilustración 6

Sismicidad con foco profundo para el período 1961 - 1982 ($h \geq 300$ km)



Como resultado se obtuvieron magnitudes que van de 4.5 a 8.15.

7.4.2. Recurrencia Sísmica

La recurrencia sísmica representa el número de eventos mayores o iguales a alguna magnitud dentro de la fuente y está descrita por de la relación de recurrencia de Gutenberg y Richter (1954)

Se aplicó dicha ley con los siguientes parámetros ajustados:

$$\log_{10} N(M) = 8.15 - 1.11 \cdot M$$

Donde:

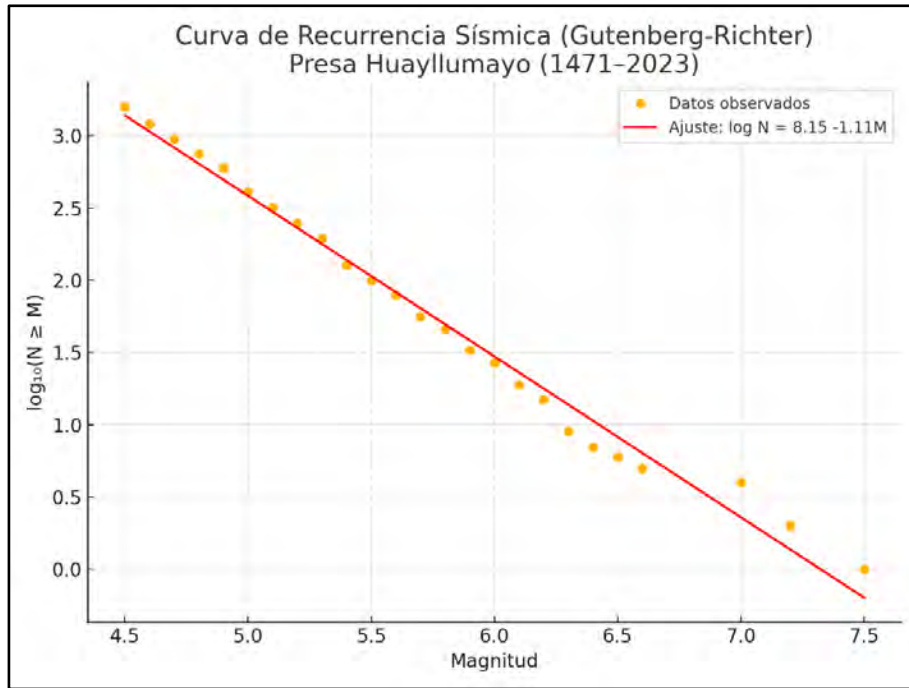
$a = 8.15$: Representa la actividad sísmica general de la zona.

$b = 1.11$: Indica la pendiente de decrecimiento con la magnitud; valor típico para zonas tectónicamente activas.

Esto significa que los sismos moderados a grandes ($M \geq 5.5$) ocurren con una frecuencia moderada, siendo la zona sísmicamente activa. Esto evidencia alta actividad sísmica regional, justificada por la tectónica activa de subducción y fallamiento cortical en el sur del Perú.

Figura 17

Curva de recurrencia sísmica ajustada con datos históricos e instrumentales (1471–2023).



Fuente: Elaboración propia

7.4.3. Leyes de Atenuación (GMPEs)

Se aplicaron los modelos de atenuación sísmica propuesta por Youngs et al. (1997), que diferencian los mecanismos focales para sismos de subducción de interfase e intraplaca en la estimación de la máxima aceleración del suelo. Así mismo, se ha utilizado el modelo de atenuación sísmica propuesta por Sadigh et al. (1997) para sismos continentales. Con ellos se estimaron los niveles de aceleración pico del suelo (PGA) para cada evento del catálogo, permitiendo construir la curva de peligro probabilístico.

Para las Fuentes de Subducción - Youngs et al. (1997)

$$\ln(y) = -0.6687 + 1.438M + C_1 + C_2 (10-M)^3 + C_3 \ln(R + 1.097e^{0.617M}) + 0.00648H + 0.3643ZT$$

Para Fuentes Continentales - Sadigh et al. (1997)

$$\ln(y) = C_1 + C_2 M - C_3 \ln(r_{rup} + C_4 e^{C_5 M}) + C_6 + C_7 (8.5 - M)^{2.5}$$

Donde:

M : Magnitud del evento

R : Distancia al sitio (km)

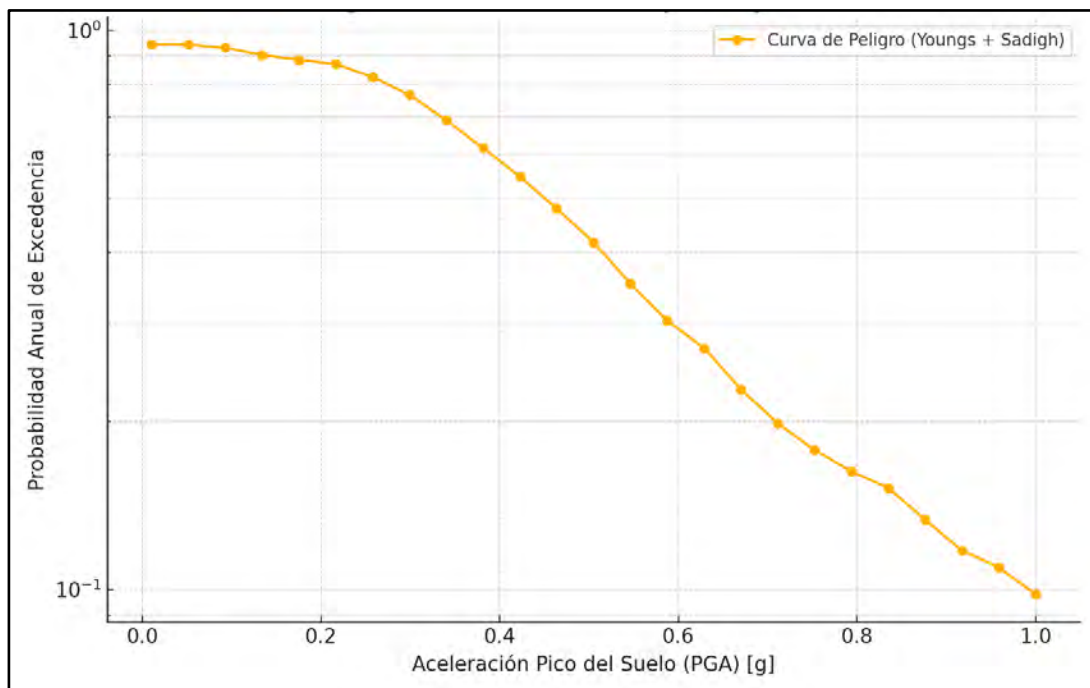
$Z_t = 0$ para sismos de interfase, 1 para sismos de intraplaca.

R_{rup} = Distancia más cercana al área de ruptura (km)

H = Profundidad focal en km.

Figura 18

Curva de Peligro Sísmico



Fuente: Elaboración propia

El eje X representa diferentes niveles de aceleración pico del suelo (PGA en g).

El eje Y representa la probabilidad anual de que ese nivel de aceleración sea superado.

7.4.4. Evaluación de Fuentes Sismogénicas

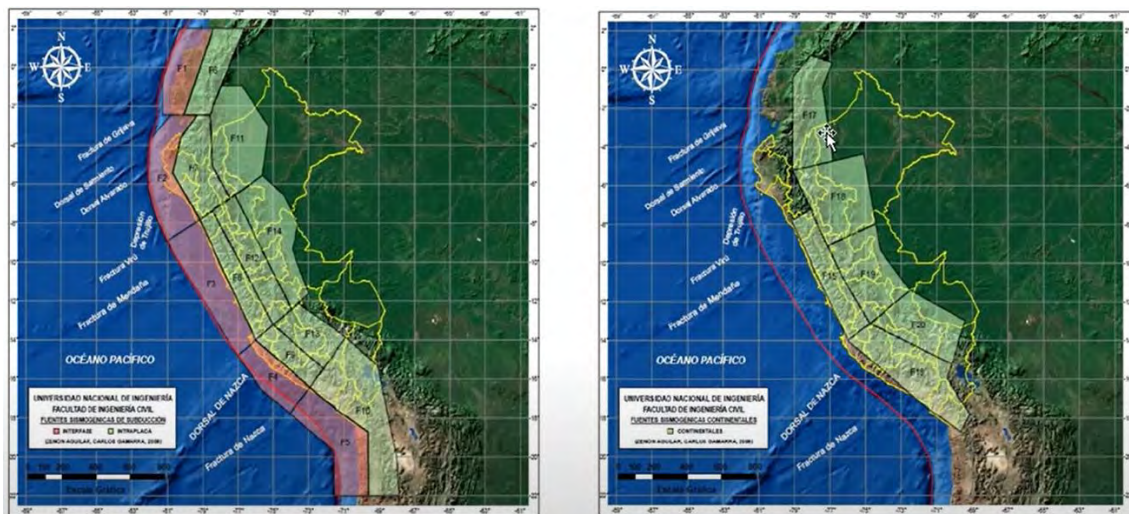
Una fuente sismogénica es aquella línea, zona o volumen geográfico que tiene similitudes geológicas, geofísicas y sísmicas tales, que se pueda considerar que posee un potencial sísmico homogéneo, es decir, en la que el proceso de generación y recurrencia de sismos es espacial y temporalmente similar.

El presente trabajo se ha basado en la revisión de la actividad sísmica histórica e instrumental, reafirmando la definición de las fuentes sismogénicas realizada por Gamarra, C. (2009).

La Figura 19 muestra las 20 fuentes sismogénicas definidas. Las Fuentes 01, 02, 03, 04 y 05 están ubicadas a lo largo de la costa y representan la sismicidad de interfase en la zona de Benioff (0-70 Km). Las Fuentes 06, 07, 08 y 09 representan la sismicidad de intraplaca superficial (70 a 125 Km); y las Fuentes 10, 11, 12, 13 y 14 la sismicidad de intraplaca intermedia (125 a 300 Km). Las Fuentes 15, 16, 17, 18, 19 y 20 están relacionadas con la actividad sísmica cortical superficial (<70Km).

Figura 19

Fuentes de subducción (Izquierda) y Continentales (Derecha)



Así mismo se determinó la Tasa de excedencia de intensidades, el Espectro de peligro uniforme y el Espectro de Respuesta Medio Condicional (CMS).

Figura 20

Tasa de excedencia de intensidades

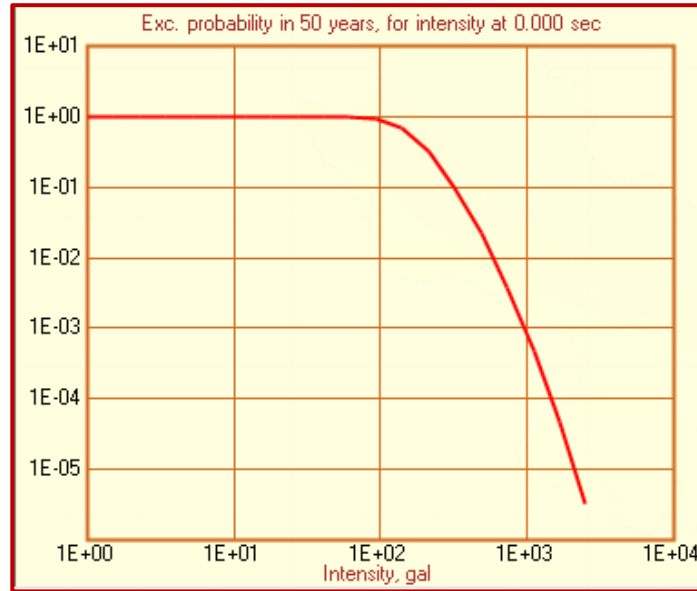


Figura 21

Espectro de peligro uniforme

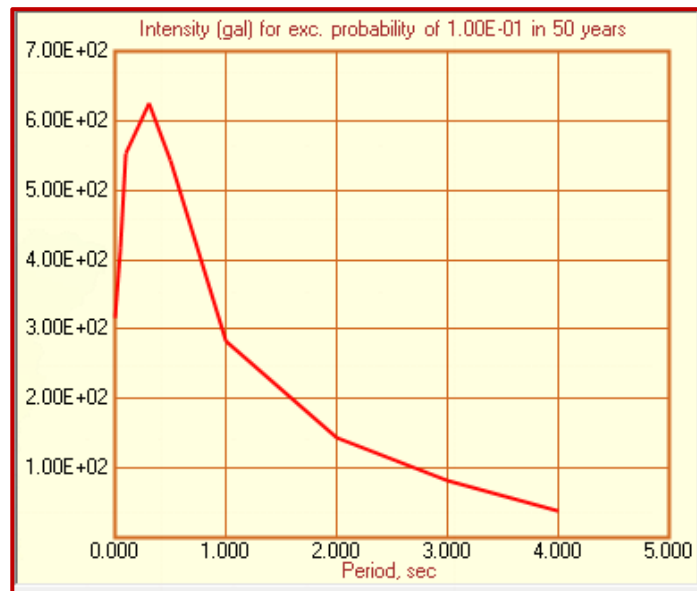
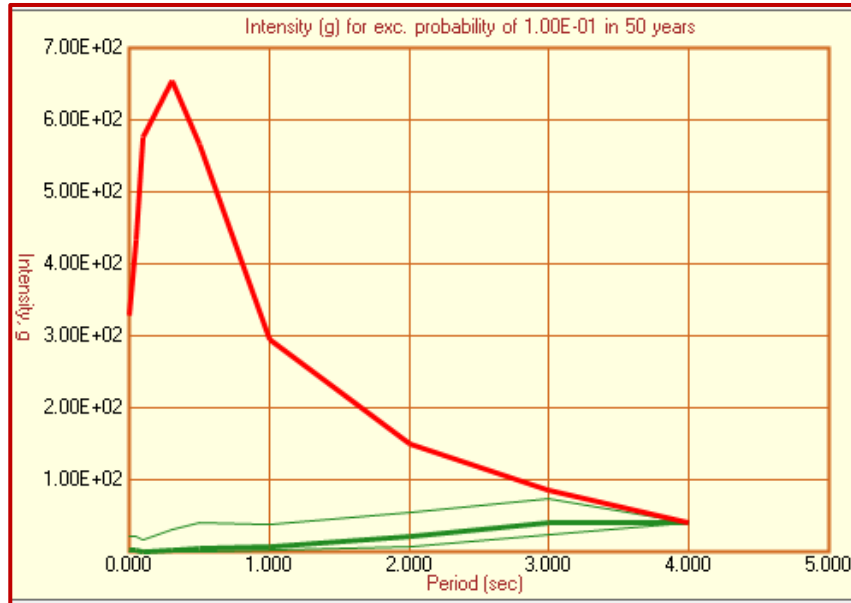


Figura 22

Espectro de Respuesta Medio Condicional (CMS), $T = 4.00$, $T_f = 50.0$



7.4.5. Conclusiones Generales

El peligro sísmico del área de estudio se ha determinado utilizando la información pertinente en la literatura técnica; y así mismo se han calculado valores de aceleración espectral con el uso del software de cómputo CRISIS 2007, desarrollado por Ordaz et al. (1999), que emplea métodos numéricos conocidos, y considera las leyes de atenuación de Youngs et al. (1997) para sismos de tipo subductivo; y la ley de atenuación de Sadigh et al. (1997) para sismos corticales.

En base a la estimación probabilística del sismo de diseño, obtenida con 10% de probabilidad de excedencia y 50 años de periodo de exposición sísmica, correspondiente a 475 años de periodo de retorno, se ha estimado un valor de PGA en suelo mínimo de 0.20 g y máximo de 0.30 g.

CAPITULO VIII: GEOFISICA

8.1. PROSPECCION GEOFISICA

Se ha realizado una evaluación geofísica en el eje y vaso de la presa, se efectuaron ensayos de refracción sísmica, tomografía eléctrica, sondeos eléctricos verticales y MÁSW.

La presente evaluación geofísica, tuvo como finalidad de estimar el espesor de los estratos de los materiales que conforman el subsuelo, estimar la profundidad del basamento rocoso, calcular los módulos dinámicos - elásticos de rigidez de los materiales que conforman la cimentación mediante la interpretación de los datos sísmicos obtenidos durante su ejecución y con los resultados de los sondajes eléctricos verticales (SEV) se determinó la existencia o no de los horizontes saturados presentes en el subsuelo, así como la localización de fallas si es que hubieran en el lugar

En el siguiente cuadro se detalla los ensayos geofísicos realizados en la presa Huayllumayo:

Tabla 27

Ensayos geofísicos realizados en el eje y vaso de presa

N°	TIPO DE PRUEBA	PUNTOS	LINEA SISMICA (m)	UBICACIÓN
1	Sondeo Eléctrico Vertical (SEV)	07	-	Eje y Vaso de Presa
2	Tomografía Eléctrica	-	540	Eje de Presa
3	Refracción Sísmica	-	400	Eje de Presa
4	MASW	04	-	Márgenes de Presa

Fuente: Elaboración propia

Equipos Utilizado

a. Refracción Sísmica y MASW

Cuadro 1

Características del equipo para Refracción Sísmica y MASW

Características	Valor Nominal
Marca / Modelo / N° de canales	AMBROGEO / ECHOS 24
Resistencia de salida	>600
Rango de frecuencia	10 – 400 Hz
Filtro de frecuencias	10, 15, 25, 35, 50, 70, 100, 140, 200, 280, 400 Hz
Ganancia	63 x (24 o 36dB) 2%
Tiempo de registro	64, 128, 256, 512, 1024, 2000 s
Tiempo de retardo de registro	0-999 ms
Filtros	High, Notch, Low, Pasa bandas
Intervalo de muestreo	0.0625, 0125, 025, 0.5, 1 y 2 ms
Tiempo de pre-arranque	90% duración general
Tensión de alimentación	12 V
Potencia de consumo	48 W




Fuente: Elaboración Propia

b. Sondeo Eléctrico Vertical y Tomografía Eléctrica

Cuadro 2

Características del equipo para SEV y TE

Características	Valor Nominal
Marca / Modelo / Serie	AMBROGEO / MANGUSTA 48E/ #SRS7210802
Transmisor	
Potencia	150W DC/DC
Corriente	0 – 200 mA
Receptor	
Milivoltímetro digital	Rango 1 – 15V
Miliamperímetro digital	Rango 1 – 10A



Fuente: Elaboración propia

8.2. REFRACCIÓN SÍSMICA

Para el ensayo de refracción sísmica se utilizó el equipo sismógrafo ECHOS de 24 canales, geófonos magnéticos y una computadora para almacenar datos.

En la zona de estudio, se realizaron 04 líneas de Refracción Sísmica de 120 m de longitud, con una separación entre geófonos de 5.0 m. La fuente de energía utilizada para generar las ondas sísmicas fue una comba de 20 lb, la cual ha permitido obtener registros de ondas de propagación con una adecuada nitidez.

En la siguiente tabla se visualiza las características generales de la ubicación de cada línea sísmica:

Tabla 28

Coordenadas UTM de líneas de refracción sísmica

LÍNEA	INICIO		FINAL		LONGITUD (m)	UBICACIÓN
RS-01	235951.80	8349565.97	236058.69	8349619.01	120	Perpendicular al eje
RS-02	235978.48	8349529.95	236086.69	8349584.20	120	Perpendicular al eje
RS-03	236040.14	8349405.09	236120.69	8349493.70	120	Estribo derecho
RS-04	235999.98	8349287.63	235984.70	8349167.74	120	Rasante al vaso

Fuente: Elaboración propia

Trabajos de Campo

Para el desarrollo de los trabajos de campo se planificó la visita preliminar de campo para reconocimiento del lugar. Previo al inicio de los trabajos de campo, se procede a marcar los puntos de inicio de cada línea sísmica (RS-01, RS-02, RS-03, RS-04), luego se procede a la instalación de equipos (extender los cables y conectar los geófonos) y a las pruebas geofísicas de calibración, finalmente, se verificó que todos los geófonos emitan señales claras sin interferencias o presencia de ruido que dificulten la interpretación y la obtención de la data.

Interpretación de resultados

La evaluación de la refracción sísmica ha consistido en graficar líneas de la superficie basándose en la topografía superficial, indicando los puntos de localización de geófonos y los puntos de impacto. Para la línea sísmica se estableció un perfil estratigráfico con valores de velocidad de propagación de ondas longitudinales (ondas P), basándose en las domocrónicas que son gráficas que relacionan tiempo de llegada con distancias.

De acuerdo a los datos obtenidos de campo para cada una de las líneas sísmicas se obtuvieron perfiles sísmicos.

8.2.1. RS – 01

La línea se desarrolló perpendicular al eje de la presa abarcando una longitud total de 120m, medida a 15 metros aproximadamente del dique existente y a lo largo del margen derecho del cauce, los estratos de la sección sísmica fueron definidos encontrándose así tres estratos que se describen a continuación:

Tabla 29

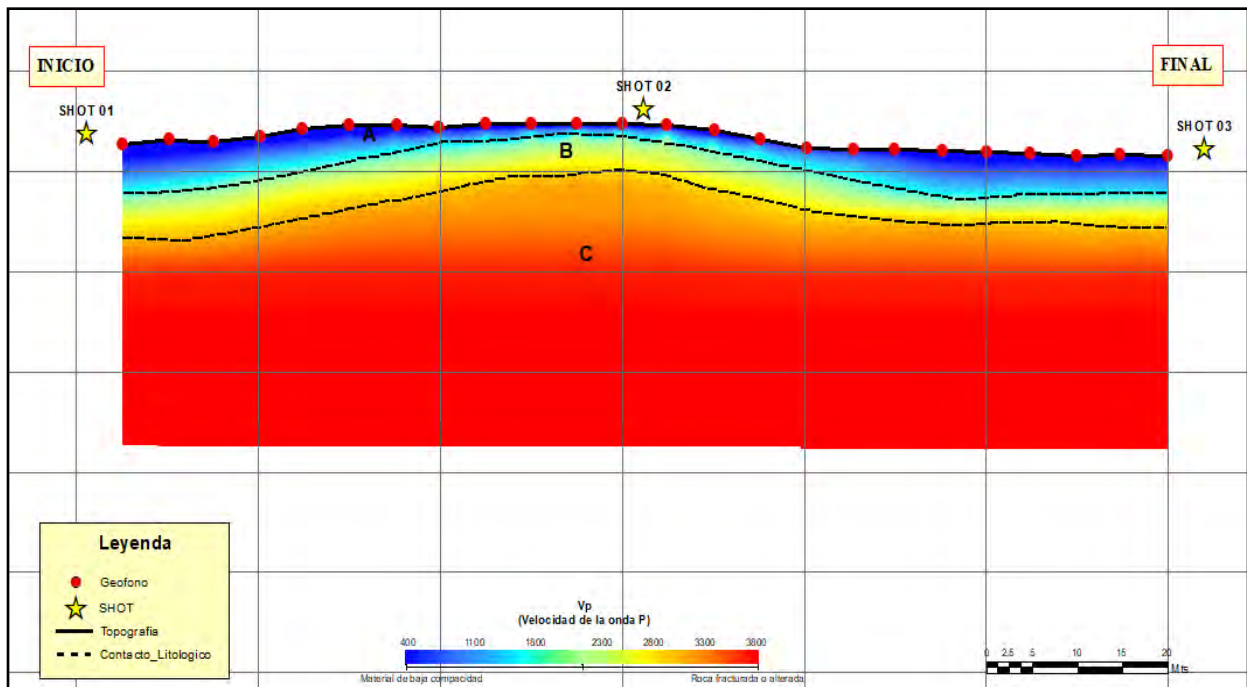
Identificación de materiales encontrados en la línea RS - 01

Línea	Estrato	V _p	V _p	Espesor	Descripción
		(m/s)	Promedio (m/s)		
RS - 01	A	400 - 750	575	1.4 – 4.7	Material de fácil ripabilidad asociado a depósitos aluviales no muy bien consolidados correspondientes a arenas compactadas con contenido de gravas.
	B	2600 - 2700	2650	2.5 – 5.9	Material no ripable, posiblemente asociado a roca blanda.
	C	3300 – 3800	3550	-	Material no ripable de alta compacidad, posiblemente asociado a roca ligeramente fracturada.

Fuente: Elaboración propia

Figura 23

Línea de Refracción Sísmica RS-01



Fuente: Elaboración propia

8.2.2. RS – 02

La línea se desarrolló perpendicular al eje de la presa abarcando una longitud total de 120m, medida a partir de 20 metros aproximadamente del dique existente y a lo largo del margen izquierdo de la zona de bofedal, los estratos de la sección sísmica fueron definidos encontrándose así tres estratos que se describen a continuación:

Tabla 30

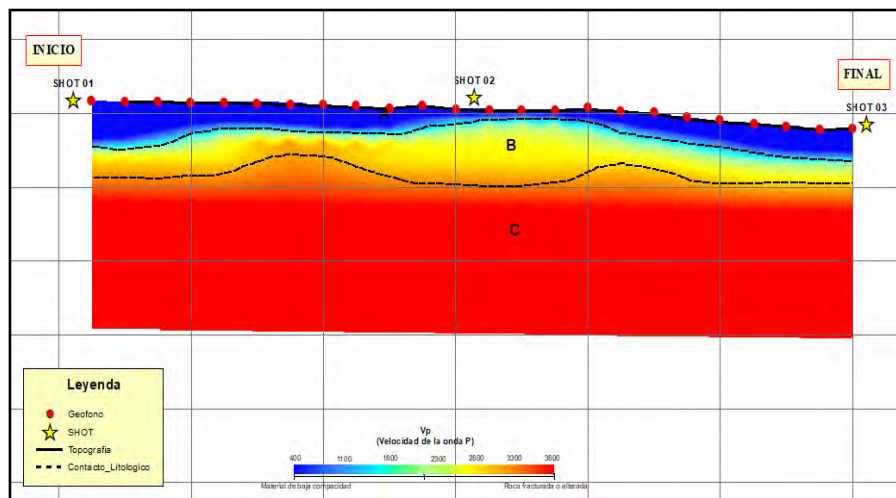
Identificación de materiales encontrados en la línea RS – 02

Línea	Estrato	V_p	V_p	Espesor	Descripción
		(m/s)	Promedio (m/s)		
RS - 02	A	400 – 600	500	1.5 – 5.6	Material de fácil ripabilidad no muy bien consolidado correspondiente a suelo de cobertura.
	B	2700 – 2750	2575	3.3 – 9.2	Material no ripable posiblemente asociado a roca blanda.
	C	3300 – 3380	3550	?	Material no ripable de alta compacidad posiblemente asociado a roca ligeramente fracturada.

Fuente: Elaboración propia

Figura 24

Línea de Refracción Sísmica RS - 02



Fuente: Elaboración propia

8.2.3. RS – 03

La línea se desarrolló en el estribo derecho de la presa abarcando una longitud total de 120m paralelamente al cauce del río, los estratos de la sección sísmica fueron definidos encontrándose así tres estratos que se describen a continuación:

Tabla 31

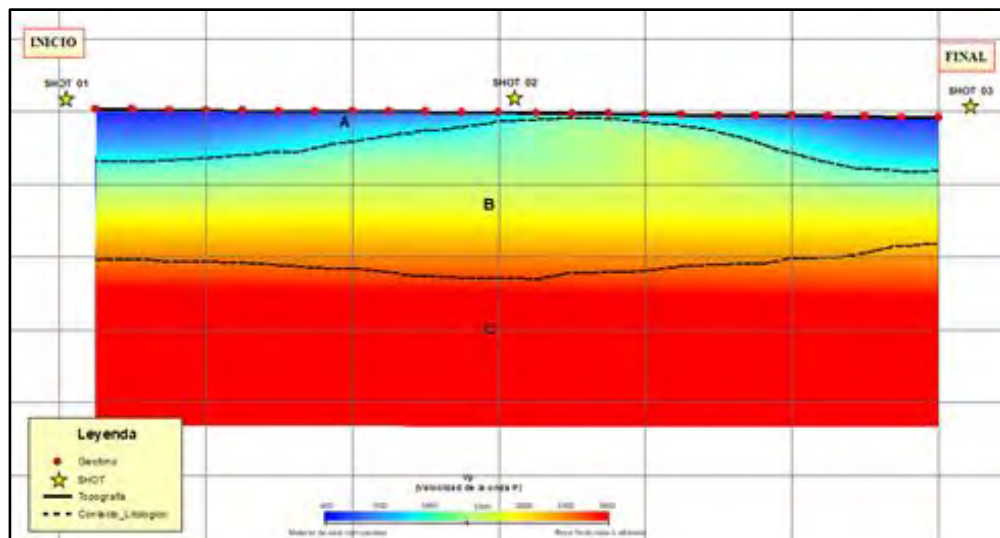
Identificación de materiales encontrados en la línea RS - 03

Línea	Estrato	V_p	V_p	Espesor	Descripción
		(m/s)	Promedio (m/s)		
RS - 03	A	400 – 1100	750	1.5 – 6.7	Material de fácil ripado no muy bien consolidado e intemperizado
	B	2700 – 2900	2800	14.4 – 21.9	Material no ripable posiblemente asociado a roca alterada.
	C	3500 - 4000	3750	?	Material no ripable, de alta compacidad posiblemente asociado a roca ligeramente fracturada.

Fuente: Elaboración propia

Figura 25

Línea de Refracción Sísmica RS - 03



Fuente: Elaboración propia

8.2.4. RS – 04

La línea se desarrolló en la zona del vaso de la presa, abarcando una longitud total de 120m, ubicado al extremo derecho del embalse, los estratos de la sección sísmica fueron definidos encontrándose así tres estratos que se describen a continuación:

Tabla 32

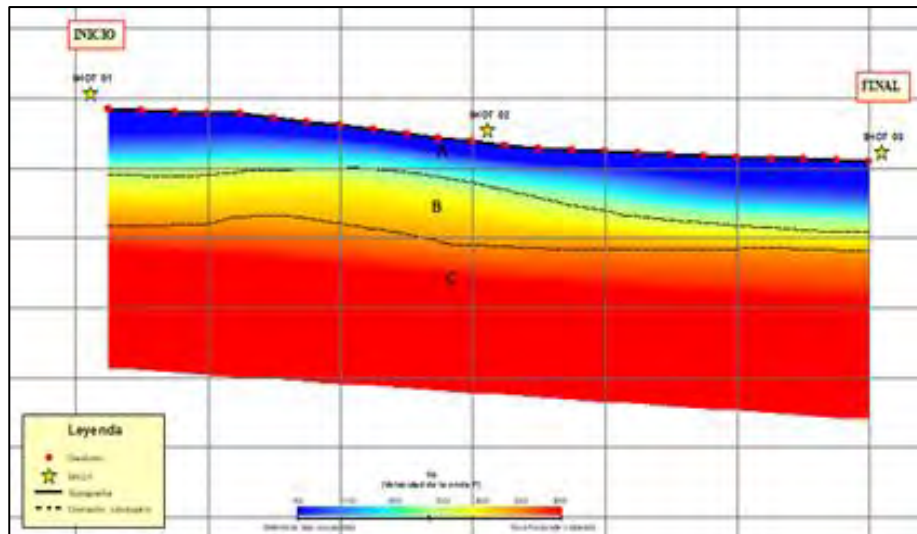
Identificación de materiales encontrados en la línea RS - 04

Línea	Estrato	V_p	V_p	Espesor	Descripción
		(m/s)	Promedio (m/s)		
RS - 04	A	900 – 1200	1150	5.6 – 9.7	Material de fácil ripado asociado a suelos no consolidado e intemperizado.
	B	2700 – 3100	2900	3.4 – 8.9	Material no ripable y medianamente compacto posiblemente asociado a roca muy alterada.
	C	3300 – 3800	3550	?	Material no ripable de alta compacidad posiblemente asociado a roca ligeramente fracturada.

Fuente: Elaboración propia

Figura 26

Línea de Refracción Sísmica RS - 04



Fuente: Elaboración propia

8.3. ANÁLISIS DE ONDAS SUPERFICIALES EN ARREGLO MULTICANAL (MASW)

Esta técnica se ha venido utilizando con bastante frecuencia en la exploración geotécnica para la cimentación de edificaciones, de puentes y cimentación de máquinas, cimentación de presas de tierra, presas de relaves y pads de lixiviación, obteniéndose buenas correlaciones con los perfiles estratigráficos del suelo en los casos donde se han realizado perforaciones diamantinas, así como con los resultados de los ensayos SPT, por lo que tiene una buena confiabilidad y constituye una alternativa muy económica para la evaluación de los parámetros elásticos del suelo de fundación.

Teniendo las velocidades de onda P y de onda S, se pueden estimar los módulos elásticos del suelo (coeficiente de Poisson, Módulo de Young, módulo volumétrico, módulo de corte):

En la siguiente tabla se visualiza las características generales de la ubicación de cada punto MASW:

Tabla 33

Coordenadas UTM de puntos MASW

LINEA	INICIO		FINAL		LONGITUD (m)	UBICACIÓN
MASW – 01	236009.69	8349588.64	-	-	PUNTUAL	Punto medio RS - 01
MASW – 02	236028.20	8349559.62	-	-	PUNTUAL	Punto medio RS - 01
MASW - 03	236078.46	8349444.26	-	-	PUNTUAL	Punto medio RS - 01
MASW - 04	235992.13	8349228.76	-	-	PUNTUAL	Punto medio RS - 01

Fuente: Elaboración propia

Clasificación Sísmica - IBC 2015

Se ha calculado la velocidad promedio de ondas de corte Vs30 de acuerdo al International Building Code (IBC, 2015) con el propósito de caracterizar sísmicamente el tipo de suelo en función de los perfiles unidimensionales de ondas de corte y sus correspondientes velocidades promedio hasta los 30 m de profundidad (Vs30). De acuerdo al código IBC 2015, se clasifica los suelos en 6 clases, esta clasificación ha sido definida en función a la velocidad de ondas de corte promedio de un estrato de 30 m de profundidad que se calcula de acuerdo a la siguiente relación:

$$\bar{v}_{s30} = \frac{\sum_{i=1}^n d_i}{\sum_{i=1}^n \frac{d_i}{v_{si}}}$$

d_i : Espesor de cada capa entre 0.0 m y 30.0 m

v_{si} : Velocidad de ondas de corte de cada capa (m/s)

Clasificación Sísmica NTP E-030 - 2018

Actualmente, las categorías del suelo usados en códigos de edificaciones para diseño sísmico son generalmente basados en, o al menos correlacionado con la velocidad de las ondas que se propagan por las capas superficiales.

De acuerdo a la norma técnica peruana de diseño sismo resistente (E-030 - 2018), los suelos se clasifican en cuatro grupos diferentes que están en función del promedio de velocidades de onda de corte, correspondientes a cada capa existente en una potencia de 30m más superficiales. El concepto de Vs30 está basado en la idea de que la amplificación del terreno y los efectos de sitio ocurren principalmente en los primeros 30 metros de profundidad.

Parámetros de diseño en base a ensayos geofísicos

Los métodos geofísicos aplicados a la geotecnia en especial los métodos sísmicos son útiles en varios factores una de ellas son los diferentes parámetros que pueden ser calculados a partir de la correlación entre las velocidades de ondas de compresión (V_p) y de ondas de corte (V_s) obtenidos de los estudios de refracción sísmica y de MASW respectivamente para el uso que sea necesario en el análisis de ingeniería.

Parámetros de deformación

Las técnicas sísmicas permiten obtener la velocidad de propagación de las ondas sísmicas P (primarias) y de las ondas sísmicas S (secundarias). Con estos valores de velocidad de propagación de las ondas P y S (V_p y V_s) a través del terreno y los pesos volumétricos obtenidos se determina la relación de Poisson (ν), el Módulo de Elasticidad Dinámico (E_d), el Módulo de Corte Dinámico (G_d) de los suelos o macizos rocosos.

Coefficiente de Poisson:

$$\nu = \frac{\left(\frac{V_p}{V_s}\right)^2 - 2}{2 \cdot \left(\frac{V_p}{V_s}\right)^2 - 2}$$

Módulo de Corte:

$$G_d = \gamma \cdot V_s^2 \quad (\gamma = \text{densidad del terreno})$$

Módulo de Young:

$$E_d = 2 \cdot G_d (1 + \mu)$$

Módulo Volumétrico:

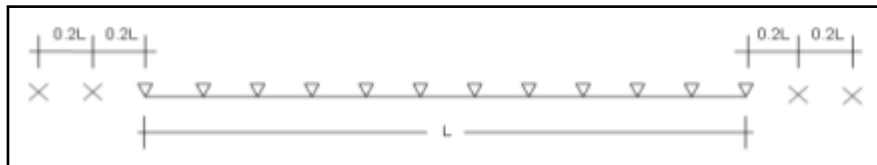
$$K_d = \frac{E_d}{3 \cdot (1 - 2\mu)}$$

Trabajos de Campo

El ensayo es similar al de refracción sísmica, consiste en la medición de los tiempos de viaje de las ondas de corte (V_s) generadas por un golpe de impacto producidas por una comba. La diferencia principal radica que para este método se emplean geófonos de 4.5 Hz de frecuencia, además, los puntos de disparo se ubican a 0,2 y 0,4m de los extremos de la línea, tal y como se muestra en la siguiente figura:

Figura 27

Distribución de puntos de disparo del ensayo MASW



Fuente: Elaboración propia

Interpretación de resultados

De los registros obtenidos en cada una de las líneas realizadas, se determinaron las velocidades de las ondas superficiales registradas en cada uno de los geófonos ubicados a distancias determinadas, de esta manera se pudo obtener la velocidad V_{s30} en cada uno de los tendidos y así clasificar el tipo de suelo en una zona establecida.

El procesamiento de la información de campo se realizó por medio del programa SeisImager/SW versión 1.4.

8.3.1. MASW - 01

La interpretación de este ensayo genero un sondaje de velocidad de onda S con resultados confiables hasta una profundidad de 30 m, el cual muestra la presencia de 2 cambios de velocidades sísmicas asociado a estratos o dos calidades diferentes del mismo macizo rocoso.

Tabla 34

Descripción de los estratos determinados - MASW 01

Línea	Estrato	Vs	Vs Promedio	Espesor	Descripción
		(m/s)	(m/s)	(m)	
MASW 01	A	250 - 510	380	5.20	Material asociado posiblemente a suelo muy denso.
	B	660 - 1251	955	-	Material asociado posiblemente a roca muy dura o poco alterada.

Fuente: Elaboración propia

Clasificación sísmica ASCE – 210 / IBC – 2015

Tabla 35

Clasificación sísmica ASCE-210 / IBC - 2015

Tipo de Suelo	Clasificación del Suelo	Propiedades Promedio en los primeros 30 metros (Vs30*)		
		Velocidad Vs (m/s)	Resistencia a la Penetración estándar, NSTP	Resistencia al corte no drenado S(psf)
A	Roca muy dura	$V_s > 1500$	N/A	N/A
B	Roca	$760 < V_s \leq 1500$	N/A	N/A
C	Suelo muy denso o roca blanda	$360 < V_s \leq 760$	NSPT >50	$S_u \geq 2000$
D	Suelo Rígido	$180 \leq V_s \leq 360$	$15 \leq \text{NSPT} \leq 50$	$1\ 000 \leq S_u \leq 2000$
E	Suelo blando	$V_s < 180$	NSPT <15	$S_u < 1000$
E	-	Cualquier perfil de suelo con más de 3m de espesor que tenga las siguientes características: 1. Índice de plasticidad (IP) > 20 2. Contenido de humedad (w) $\geq 40\%$ y 3. Resistencia al corte no drenado $S_u < 500\text{psf}$		
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 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> 36m)		

Fuente: IBC, 2015

Tabla 36

Caracterización del suelo en función del Vs30 de los ensayos realizados

N°	MASW	Tipo de onda	Periodo Fundamental Ts	Vs30 (m/s)	IBC	Tipo de Suelo según IBC
1	MASW - 01	S	0.14	836.37	B	Roca

Clasificación Sísmica NTP E-030 - 2018

Tabla 37

Clasificación sísmica NTP E-030-2018

Tipo de suelo	Vs30 (m/s)	Denominación
S1	$V_s > 1500$	Roca dura
S2	$500 < V_s < 1500$	Suelo muy rígido
S3	$180 < V_s < 500$	Suelo intermedio
S4	$V_s < 180$	Suelo blando

Fuente: NTP E-030-2018

Parámetros de diseño en base a ensayos geofísicos

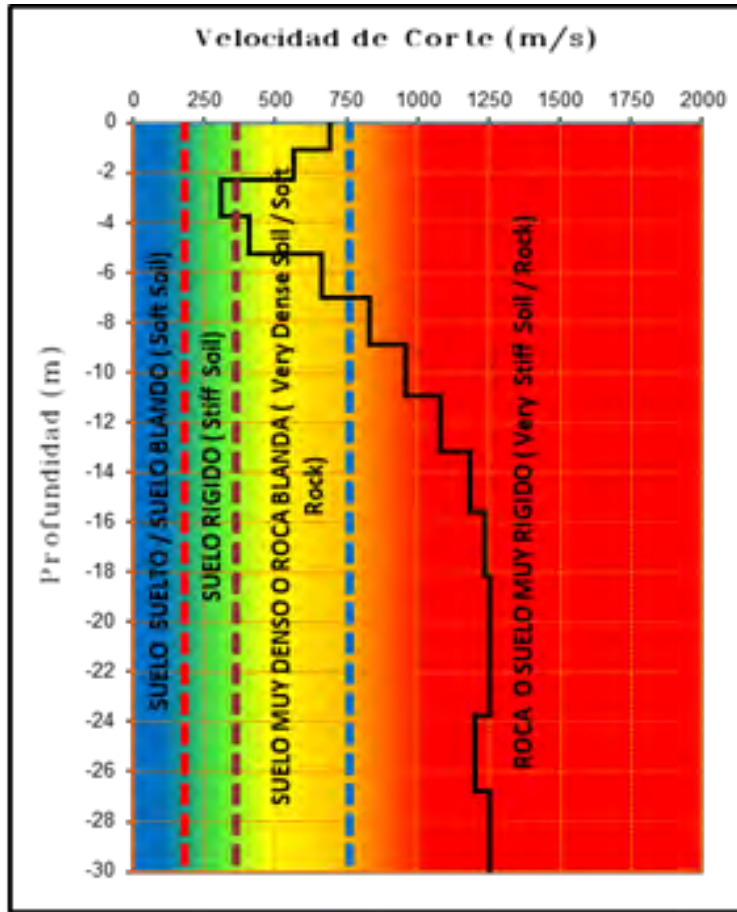
Tabla 38

Parámetros de deformación - MASW 01

Profundidad (m)	Vp (m/s)	Vs (m/s)	Densidad (Tn/cm ³)	Relación de Poisson u	Módulo de corte Gd (kg/cm ²)	Módulo de Young Ed (kg/cm ²)	Módulo Volumétrico Kd (kg/cm ²)	Módulo de corte Ge (kg/cm ²)	Módulo de Young Ee (kg/cm ²)	Módulo Volumétrico Ke (kg/cm ²)
4.5	575	380	1.7	0.11	2451.2	5452.8	2344.1	122.6	272.6	117.2
10	2650	955	2.4	0.43	22125.1	63072.9	140860.7	2212.5	6307.3	17086.1

Figura 28

Perfil unidimensional y descripción de los estratos determinados – MASW 01



8.3.2. MASW -02

La interpretación de este ensayo genero un sondaje de velocidad de onda S con resultados confiables hasta una profundidad de 30 m, el cual muestra la presencia de 2 cambios de velocidades sísmicas asociado a estratos o dos calidades diferentes del mismo macizo rocoso.

Tabla 39

Descripción de los estratos determinados - MASW 02

Línea	Estrato	Vs	Vs Promedio	Espesor	Descripción
		(m/s)	(m/s)	(m)	
MASW 02	A	270	310	5.27	Material asociado posiblemente a roca blanda.
	B	350	690	-	Material asociado posiblemente a roca poco fracturada.

Clasificación sísmica ASCE - 210 / IBC - 2015

Tabla 40

Clasificación sísmica ASCE - 210 / IBC - 2015

Tipo de Suelo	Clasificación del Suelo	Propiedades Promedio en los primeros 30 metros (Vs30*)		
		Velocidad Vs (m/s)	Resistencia a la Penetración estándar, NSTP	Resistencia al corte no drenado S(psf)
A	Roca muy dura	$V_s > 1500$	N/A	N/A
B	Roca	$760 < V_s \leq 1500$	N/A	N/A
C	Suelo muy denso o roca blanda	$360 < V_s \leq 760$	NSPT >50	$S_u \geq 2000$
D	Suelo Rígido	$180 \leq V_s \leq 360$	$15 \leq \text{NSPT} \leq 50$	$1\ 000 \leq S_u \leq 2000$
E	Suelo blando	$V_s < 180$	NSPT <15	$S_u < 1000$
E	-	Cualquier perfil de suelo con más de 3m de espesor que tenga las siguientes características: 4. Índice de plasticidad (IP) > 20 5. Contenido de humedad (w) $\geq 40\%$ y 6. Resistencia al corte no drenado $S_u < 500\text{psf}$		
F	-	Cualquier perfil de suelo que contenga una o más de las siguientes características: 5. Suelos vulnerables a una posible fractura o colapso bajo efecto sísmico, por ejemplo: suelos licuables, arcillas altamente sensibles y suelos débilmente cementados. 6. Turbas y/o arcillas altamente orgánicas (H>3 de turba y/o arcillas altamente orgánicas, donde H=espesor del suelo) 7. Arcillas de muy alta plasticidad (H>7.6 m con índice de plasticidad IP>75) 8. Arcillas gruesas suaves a medias (H> 36m)		

Fuente: IBC - 2015

Tabla 41

Caracterización del suelo en función del Vs30 de los ensayos realizados

N°	MASW	Tipo de onda	Periodo Fundamental Ts	Vs30 (m/s)	IBC	Tipo de Suelo según IBC
1	MASW - 02	S	0.15	775.24	B	Roca

Clasificación Sísmica NTP E-030 - 2018

Tabla 42

Clasificación sísmica NTP 030 - 2018

Tipo de suelo	Vs30 (m/s)	Denominación
S1	$V_s > 1500$	Roca dura
S2	$500 < V_s < 1500$	Suelo muy rígido
S3	$180 < V_s < 500$	Suelo intermedio
S4	$V_s < 180$	Suelo blando

Parámetros de diseño en base a ensayos geofísicos

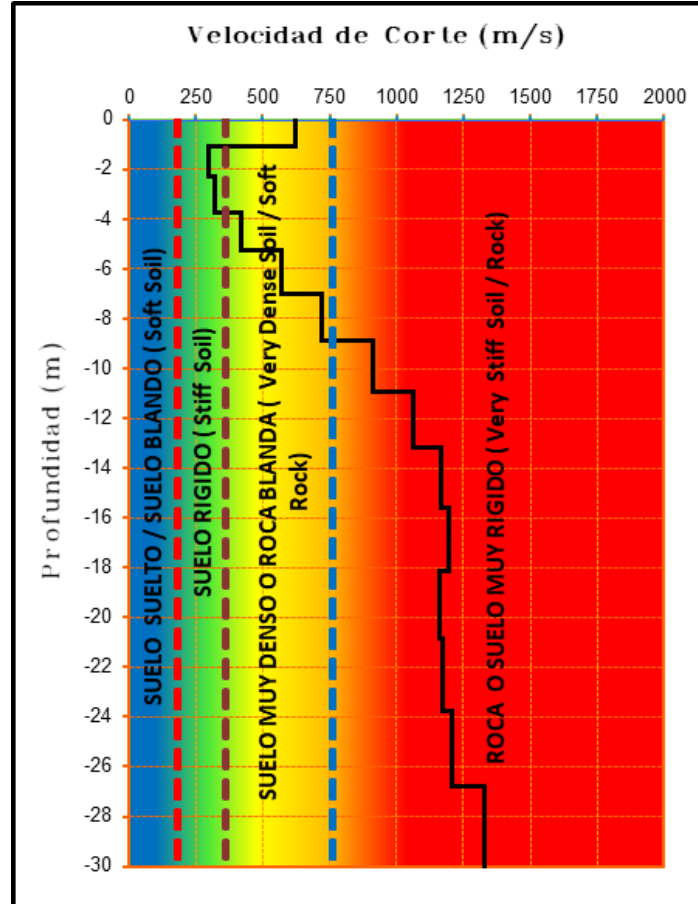
Tabla 43

Parámetros de deformación - MASW 02

Profundidad (m)	Vp (m/s)	Vs (m/s)	Densidad (Tn/cm ³)	Relación de Poisson u	Módulo de corte Gd (kg/cm ²)	Módulo de Young Ed (kg/cm ²)	Módulo Volumétrico Kd (kg/cm ²)	Módulo de corte Ge (kg/cm ²)	Módulo de Young Ee (kg/cm ²)	Módulo Volumétrico Ke (kg/cm ²)
5.6	500	310	1.6	0.19	1607.2	3818.0	2038.1	80.4	190.9	101.9
9.2	2725	890	2.4	0.44	19304.4	55608.1	155232.0	1930.4	5560.8	15523.2

Figura 29

Perfil Unidimensional y descripción de los estratos determinados - MASW 02



8.3.3. MASW – 03

La interpretación de este ensayo genero un sondaje de velocidad de onda S con resultados confiables hasta una profundidad de 30 m, el cual muestra la presencia de 2 cambios de velocidades sísmicas asociado a estratos o dos calidades diferentes del mismo macizo rocoso.

Tabla 44

Descripción de los estratos determinados - MASW 03

Línea	Estrato	Vs	Vs Promedio	Espesor	Descripción
		(m/s)	(m/s)	(m)	
MASW 03	A	470 – 650	560	7.20	Material asociado posiblemente a suelo muy denso.
	B	680 - 1180	930	-	Material asociado posiblemente a roca levemente fracturada.

Fuente: Elaboración propia

Clasificación sísmica ASCE - 210 / IBC - 2015

Tabla 45

Clasificación sísmica ASCE - 210 / IBC - 2015

Tipo de Suelo	Clasificación del Suelo	Propiedades Promedio en los primeros 30 metros (Vs30*)		
		Velocidad Vs (m/s)	Resistencia a la Penetración estándar, NSTP	Resistencia al corte no drenado S(psf)
A	Roca muy dura	$V_s > 1500$	N/A	N/A
B	Roca	$760 < V_s \leq 1500$	N/A	N/A
C	Suelo muy denso o roca blanda	$360 < V_s \leq 760$	NSPT >50	$S_u \geq 2000$
D	Suelo Rígido	$180 \leq V_s \leq 360$	$15 \leq \text{NSPT} \leq 50$	$1\ 000 \leq S_u \leq 2000$
E	Suelo blando	$V_s < 180$	NSPT <15	$S_u < 1000$
E	-	Cualquier perfil de suelo con más de 3m de espesor que tenga las siguientes características: 7. Índice de plasticidad (IP) > 20 8. Contenido de humedad (w) $\geq 40\%$ y 9. Resistencia al corte no drenado $S_u < 500\text{psf}$		
F	-	Cualquier perfil de suelo que contenga una o más de las siguientes características: 9. Suelos vulnerables a una posible fractura o colapso bajo efecto sísmico, por ejemplo: suelos licuables, arcillas altamente sensibles y suelos débilmente cementados. 10. Turbas y/o arcillas altamente orgánicas (H>3 de turba y/o arcillas altamente orgánicas, donde H=espesor del suelo) 11. Arcillas de muy alta plasticidad (H>7.6 m con índice de plasticidad IP>75) 12. Arcillas gruesas suaves a medias (H> 36m)		

Fuente: IBC - 2015

Tabla 46

Caracterización del suelo en función del Vs30 de los ensayos realizados

N°	MASW	Tipo de onda	Periodo Fundamental Ts	Vs30 (m/s)	IBC	Tipo de Suelo según IBC
1	MASW - 03	S	0.13	921.50	B	Roca

Clasificación Sísmica NTP E-030 - 2018

Tabla 47

Clasificación sísmica NTP 030 - 2018

Tipo de suelo	Vs30 (m/s)	Denominación
S1	$V_s > 1500$	Roca dura
S2	$500 < V_s < 1500$	Suelo muy rígido
S3	$180 < V_s < 500$	Suelo intermedio
S4	$V_s < 180$	Suelo blando

Parámetros de diseño en base a ensayos geofísicos

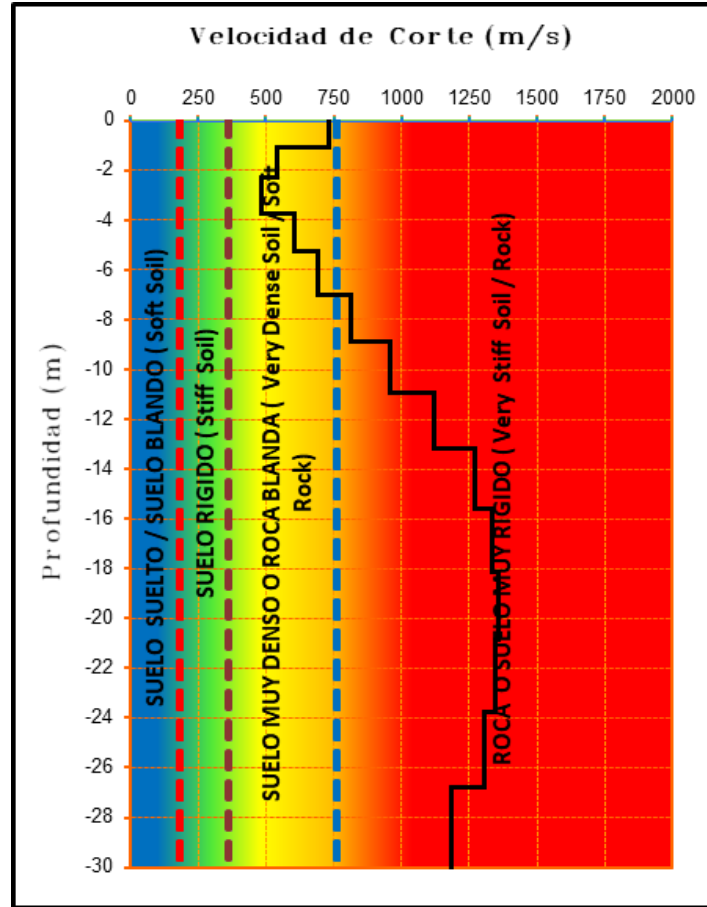
Tabla 48

Parámetros de deformación - MASW 03

Profundidad (m)	Vp (m/s)	Vs (m/s)	Densidad (Tn/cm ³)	Relación de Poisson u	Módulo de corte Gd (kg/cm ²)	Módulo de Young Ed (kg/cm ²)	Módulo Volumétrico Kd (kg/cm ²)	Módulo de corte Ge (kg/cm ²)	Módulo de Young Ee (kg/cm ²)	Módulo Volumétrico Ke (kg/cm ²)
7.2	750	560	1.7	-0.13	5488.6	9550.4	2526.7	274.4	477.5	126.3
14.5	2800	930	2.4	0.44	21174.1	60896.7	163703.2	2117.4	6089.7	16370.3

Figura 30

Perfil Unidimensional y descripción de los estratos determinados - MASW 03



8.3.4. MASW – 04

La interpretación de este ensayo genero un sondaje de velocidad de onda S con resultados confiables hasta una profundidad de 30 m, el cual muestra la presencia de 2 cambios de velocidades sísmicas asociado a estratos o dos calidades diferentes del mismo macizo rocoso.

Tabla 49

Descripción de los estratos determinados - MASW 04

Línea	Estrato	Vs	Vs Promedio	Espesor	Descripción
		(m/s)	(m/s)	(m)	
MASW 02	A	694 -874	784	7.20	Material asociado posiblemente a suelo muy denso.
	B	804 - 1385	1095	-	Material asociado posiblemente a roca poco alterada.

Clasificación sísmica ASCE - 210 / IBC - 2015

Tabla 50

Clasificación sísmica ASCE - 210 / IBC - 2015

Tipo de Suelo	Clasificación del Suelo	Propiedades Promedio en los primeros 30 metros (Vs30*)		
		Velocidad Vs (m/s)	Resistencia a la Penetración estándar, NSTP	Resistencia al corte no drenado S(psf)
A	Roca muy dura	$V_s > 1500$	N/A	N/A
B	Roca	$760 < V_s \leq 1500$	N/A	N/A
C	Suelo muy denso o roca blanda	$360 < V_s \leq 760$	NSPT >50	$S_u \geq 2000$
D	Suelo Rígido	$180 \leq V_s \leq 360$	$15 \leq \text{NSPT} \leq 50$	$1\ 000 \leq S_u \leq 2000$
E	Suelo blando	$V_s < 180$	NSPT <15	$S_u < 1000$
E	-	Cualquier perfil de suelo con más de 3m de espesor que tenga las siguientes características: 10. Índice de plasticidad (IP) > 20 11. Contenido de humedad (w) $\geq 40\%$ y 12. Resistencia al corte no drenado $S_u < 500\text{psf}$		
F	-	Cualquier perfil de suelo que contenga una o más de las siguientes características: 13. Suelos vulnerables a una posible fractura o colapso bajo efecto sísmico, por ejemplo: suelos licuables, arcillas altamente sensibles y suelos débilmente cementados. 14. Turbas y/o arcillas altamente orgánicas (H>3 de turba y/o arcillas altamente orgánicas, donde H=espesor del suelo) 15. Arcillas de muy alta plasticidad (H>7.6 m con índice de plasticidad IP>75) 16. Arcillas gruesas suaves a medias (H> 36m)		

Fuente: IBC - 2015

Tabla 51

Caracterización del suelo en función del Vs30 de los ensayos realizados

N°	MASW	Tipo de onda	Periodo Fundamental Ts	Vs30 (m/s)	IBC	Tipo de Suelo según IBC
1	MASW - 04	S	0.12	1018.39	B	Roca

Clasificación Sísmica NTP E-030 - 2018

Tabla 52

Clasificación sísmica NTP 030 - 2018

Tipo de suelo	Vs30 (m/s)	Denominación
S1	$V_s > 1500$	Roca dura
S2	$500 < V_s < 1500$	Suelo muy rígido
S3	$180 < V_s < 500$	Suelo intermedio
S4	$V_s < 180$	Suelo blando

Parámetros de diseño en base a ensayos geofísicos

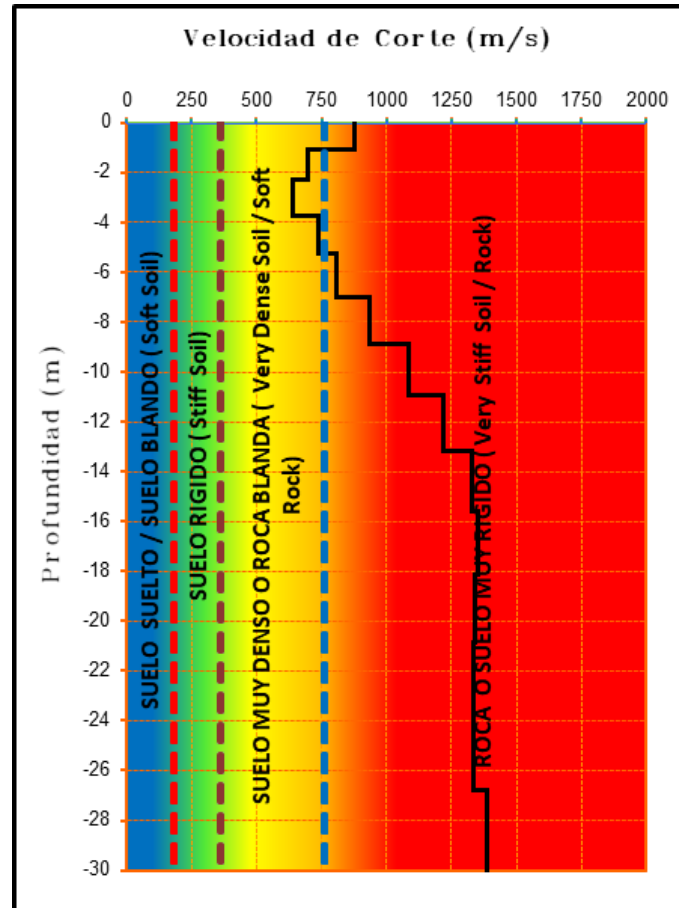
Tabla 53

Parámetros de deformación - MASW 04

Profundidad (m)	Vp (m/s)	Vs (m/s)	Densidad (Tn/cm ³)	Relación de Poisson u	Módulo de corte Gd (kg/cm ²)	Módulo de Young Ed (kg/cm ²)	Módulo Volumétrico Kd (kg/cm ²)	Módulo de corte Ge (kg/cm ²)	Módulo de Young Ee (kg/cm ²)	Módulo Volumétrico Ke (kg/cm ²)
9.7	1150	784	1.8	0.07	11378.0	24254.0	9310.4	568.9	1212.7	465.5
17.5	2900	1095	2.4	0.42	29527.7	83673.3	167738.1	2952.8	8367.3	16773.8

Figura 31

Perfil Unidimensional y descripción de los estratos determinados - MASW 04



8.4. SONDAJE ELECTRICO VERTICAL (SEV)

Para el presente ensayo de prospección geofísica, se ha realizado 06 puntos de Sondeo eléctrico vertical cada una con un alcance de investigación aproximado de 30 metros en profundidad, ubicados en lugares en el eje y dentro del vaso de la presa. La configuración electródica utilizada fue Schlumberger, con un espaciamiento de electrodos AB/2 cada 2 y 5 metros.

En la tabla siguiente se visualiza las características generales de la ubicación de los puntos SEV.

Tabla 54

Coordenadas UTM de puntos SEV

LÍNEA	INICIO		FINAL		LONGITUD (m)	UBICACIÓN
SEV-01	8349561.25	236032.74	-	-	Puntual	Eje de presa
SEV-02	8349447.85	235976.49	-	-	Puntual	Dentro del vaso
SEV-03	8349380.51	236004.17	-	-	Puntual	Dentro del vaso
SEV-04	8349210.07	235990.02	-	-	Puntual	Dentro del vaso
SEV-05	8349083.89	235847.66	-	-	Puntual	Dentro del vaso
SEV-06	8348952.12	235630.35	-	-	Puntual	Dentro del vaso

Fuente: Elaboración propia

Valores Típicos de resistividad

Tabla 55

Resistividad del agua.

Tipo de Agua	Intervalo de resistividades (Ohm.m)
Aguas dulces superficiales	10 a 10 ³
Aguas salobres superficiales	2 a 10
Aguas subterráneas	1 a 20
Aguas de impregnación de roca	0.03 a 10

Fuente: Orellana,1972

Tabla 56

Valores típicos de resistividad

Material	Intervalo de resistividades (Ohm.m)
Roca fracturada	1500 - 5000
Roca fracturada saturada con agua corriente	100 - 2000
Gravas no saturadas	500 - 2000
Gravas saturadas	300 - 500
Arenas no saturadas	400 - 700
Arenas saturadas	100 - 200
Limos no saturados	100 - 200
Limos saturados	20 - 100
Arcillas no saturadas	20 - 40
Arcillas saturadas	5 - 20

Fuente: Universidad Nacional, 2000

Trabajos de campo

Se utilizó configuración electródica de Schlumberger por ser la más adecuada para este tipo de investigación, porque los electrodos se pueden colocar a ambos lados de la estación (punto medio). El desplazamiento de los electrodos se realizó con rapidez debido a la topografía plana del sector en evaluación, permitiendo uniformidad de las condiciones operativas.

Los espaciamientos de las líneas de corriente AB/2 fueron: 5, 10, 20, 35, 50, 70, 90, 110, 140, 170 y 200 metros, y las separaciones de MN de: 2.5, 10 y 35 m.

Interpretación de resultados

Existen varios métodos de interpretación de Sondajes Eléctricos Verticales (SEV) los cuales se basan en los objetivos propuestos previo al inicio del proyecto; los cuales

pueden estar orientados en hidrogeología, geotecnia, exploración minera, etc.; sin embargo para el presente estudio se utilizó un programa computarizado que permite verificar los datos de campo y realizar el control de calidad respectivo (IPI2WIN) debido que en él se realizan los cálculos rápidos de todas las variables eléctricas medidas (Intensidad de Corriente, Potencial Espontaneo, Potencial Inducido) y dar validez o indicar al operario corregir alguna medida.

Posterior al control de calidad los datos se pasan a otro software (RES1D), en el cual se realizará el proceso de inversión geofísica colocando valores máximos y mínimos obtenidos del control de calidad y realizando un máximo de 5 iteraciones, de acuerdo al menor RMS obtenido (error medio cuadrático por sus siglas en inglés) para evitar desfases o sesgos de la información cruda; posteriormente se procede a definir las capas y valores de resistividad a partir de archivos con formato .INV para finalmente llevarlos a otro software (AUTOCAD) para poder generar los perfiles finales.

Mediante esta técnica se ha podido calcular las diferentes capas presentes en el diagrama, que representan la variación tanto litológica como del fluido existente. Las pequeñas diferencias halladas se encuentran dentro del rango error de la aplicación del método.

Además, dentro del proceso de interpretación de los datos de campo se hallaron algunos valores inconsistentes los cuales se han omitido durante la fase de correlación de los SEV's. Igualmente se ha tomado en cuenta que ciertas anomalías presentadas en la interpretación de estos modelos de 2 y 3 capas cuyas variables son: espesores y resistividades eléctricas han producido idénticas respuestas instrumentales

8.4.1. SEV - 01

El SEV fue realizado en zona de bofedal, por ello en presencia de agua los materiales se vuelven mayormente conductores al paso de corriente eléctrica, los valores de resistividad que presentan (Ver tabla 58) son debido a la presencia de material rocoso a pocas profundidades y el contacto directo del electrodo con la roca provoca cierta resistencia al paso de corriente. En el sondaje se estimó dos valores de resistividad aparente: 290Ωm y 370Ωm, es decir que la primera capa tiene espesor definido de 1.6 m y la capa de resistividad 370Ωm no presenta un espesor definido

Tabla 57

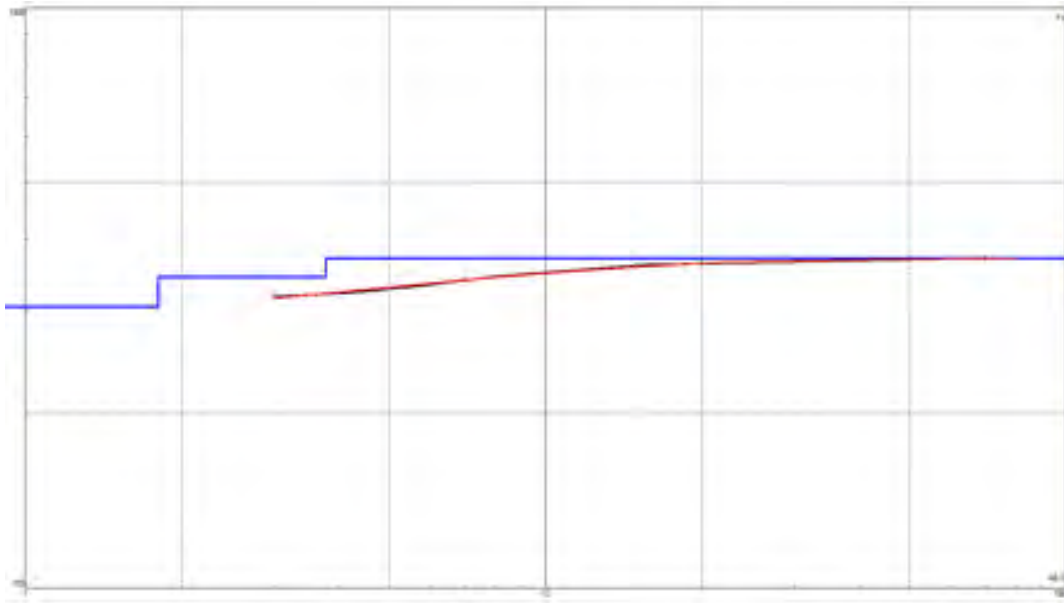
Valores de resistividades, espesores y profundidades - SEV 01

Horizonte	SEV 01			Descripción del material
	ρ_1 (Ωm)	E_1 (m)	P_1 (m)	
01	290	1.6	1.6	Cobertura superficial asociado a material aluvial en presencia de areniscas bien compactadas con contenido de agua.
02	370	-	-	Material resistivo asociado posiblemente a roca blanda alterada.

Fuente: Elaboración propia

Figura 32

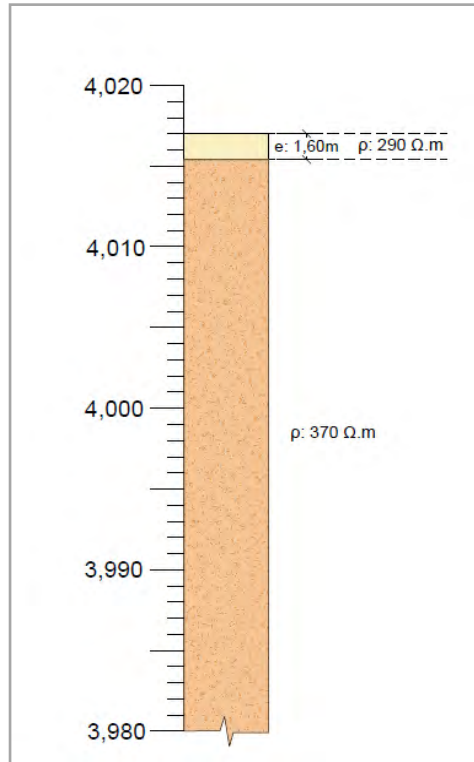
Curva de resistividad - SEV 01



Fuente: Elaboración propia

Figura 33

Columna estratigráfica - SEV 01



Fuente: Elaboración propia

8.4.2. SEV - 02

La curva se ajusta al modelo teórico del software IPI2win (Ver figura 29), el cual por el tipo de curvatura representa un terreno con presencia de tres capas o estructuras debido a que tiene un valor superficial de resistividad y conforme aumenta la profundidad de investigación el valor se ve aumentado hasta un valor máximo y luego disminuye gradualmente. En el sondaje se estimó tres valores de resistividad aparente: 67.2Ωm, 384Ωm y 68.1Ωm, es decir que corresponden a valores de dos capas con espesores definidos: 2.34m y 37.46m respectivamente, y el último valor de resistividad 68.1Ωm, no presenta un espesor definido.

Tabla 58

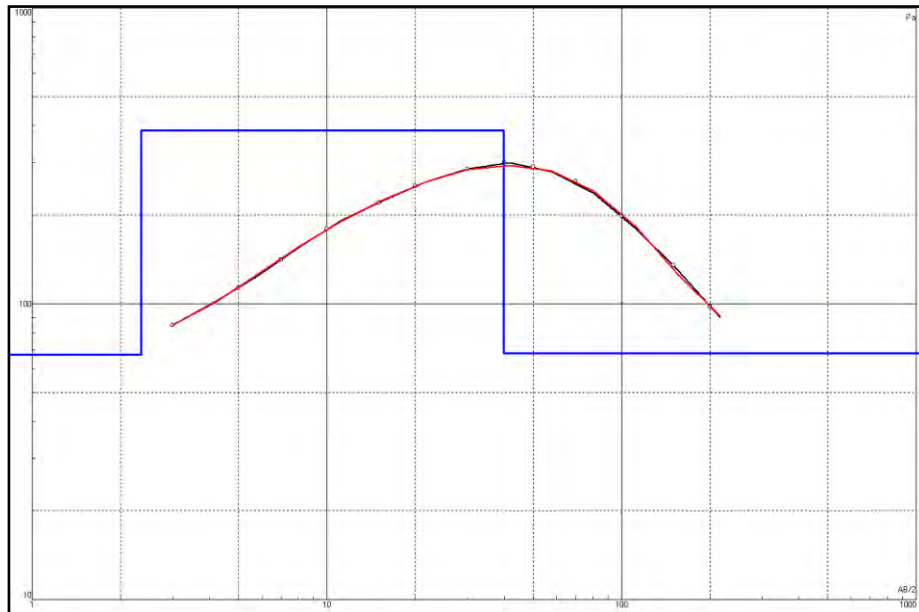
Valores de resistividades, espesores y profundidades - SEV 02

Horizonte	SEV 02			Descripción del material
	ρ_1 (Ωm)	E_1 (m)	P_1 (m)	
01	67.2	2.34	2.34	Material arenoso de alta compacidad poco resistivo con presencia de gravas y contenido de humedad.
02	38.4	37.46	39.8	Material resistivo asociado posiblemente a roca con alto grado de alteración y fisuración.
03	68.1	-	-	Material de baja resistividad con alto contenido de saturación posiblemente asociado a roca fracturada.

Fuente: Elaboración propia

Figura 34

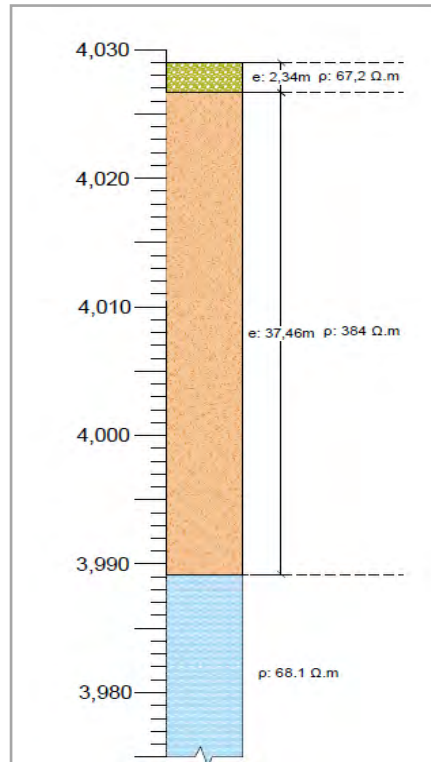
Curva de resistividad - SEV 02



Fuente: Elaboración propia

Figura 35

Columna estratigráfica - SEV 02



Fuente: Elaboración propia

8.4.3. SEV – 03

El SEV fue realizado a una distancia de 70m aproximadamente del SEV- 02, en el cual al analizar las curvas de resistividad (Ver figura 24) se observa que presenta una tendencia similar a la anterior, se pudo definir la presencia de tres estratos los cuales tienen los siguientes valores de resistividad aparente: 55Ωm, 192.5Ωm y 95Ωm, es decir que corresponden a valores de dos capas con espesores definidos: 2.1m y 54.6m respectivamente, y el último valor de resistividad 95Ωm, no presenta un espesor definido.

Tabla 59

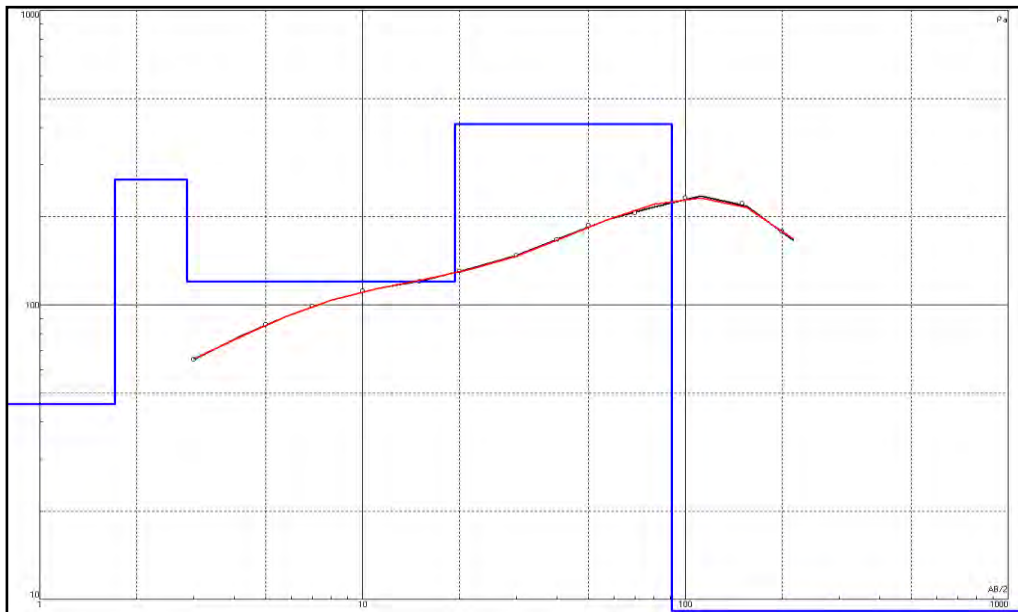
Valores de resistividades, espesores y profundidades - SEV 03

Horizonte	SEV 03			Descripción del material
	ρ_1 (Ωm)	E_1 (m)	P_1 (m)	
01	55	2.1	2.1	Material asociado a areniscas de alta compacidad, poco resistivas con presencia de gravas y contenido de humedad.
02	192.5	54.6	56.7	Material medianamente resistivo asociado posiblemente a roca blanda.
03	95	-	-	Material de baja resistividad con alto contenido de saturación, posiblemente asociado a macizo rocoso fracturado.

Fuente: Elaboración propia

Figura 36

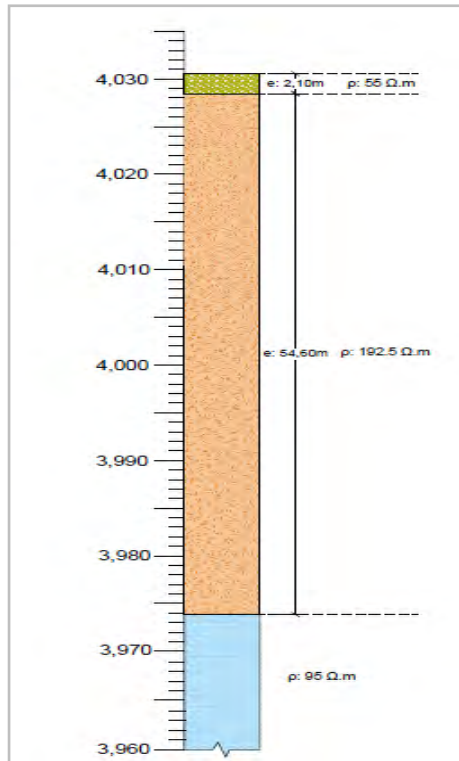
Curva de resistividades - SEV 03



Fuente: Elaboración propia

Figura 37

Columna estratigráfica - SEV 03



Fuente: Elaboración propia

8.4.4. SEV – 04

Se pudo definir en este punto la distribución de cuatro estratos o capas, los valores de resistividad varían significativamente debido a la presencia de humedad en el terreno, es decir que encontrándose en las cercanías de la zona del embalse el terreno se ve involucrado a mayor profundidad por posibles filtraciones.

En el sondaje se estimó cuatro valores de resistividad aparente: $340\Omega m$, $163\Omega m$, $346\Omega m$ y $154\Omega m$ es decir que corresponden a valores de cuatro capas con espesores definidos de 1.8m, 7.23m y 11.1m respectivamente, y el último valor de resistividad $154\Omega m$, no presenta un espesor definido.

Tabla 60

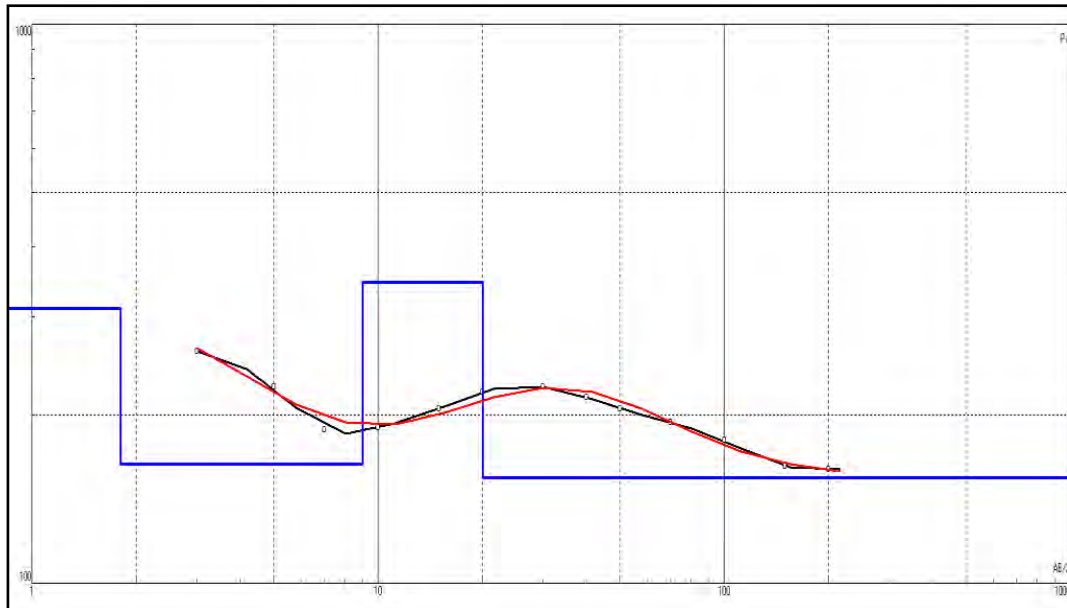
Valores de resistividades, espesores y profundidades - SEV 04

Horizonte	SEV 04			Descripción del material
	ρ_1 (Ωm)	E_1 (m)	P_1 (m)	
01	340	1.8	1.8	Material superficial medianamente resistivo asociado a areniscas con presencia de gravas, con alto grado de compacidad.
02	163	7.23	9.03	Material poco resistivo con contenido de humedad asociado posiblemente a areniscas compactas y materiales finos.
03	346	11.1	20.13	Material resistivo asociado posiblemente a presencia de gravas y tobas alteradas.
04	154	-	-	Material de baja resistividad con contenido de humedad posiblemente asociado a roca con alto grado de fracturación.

Fuente: Elaboración propia

Figura 38

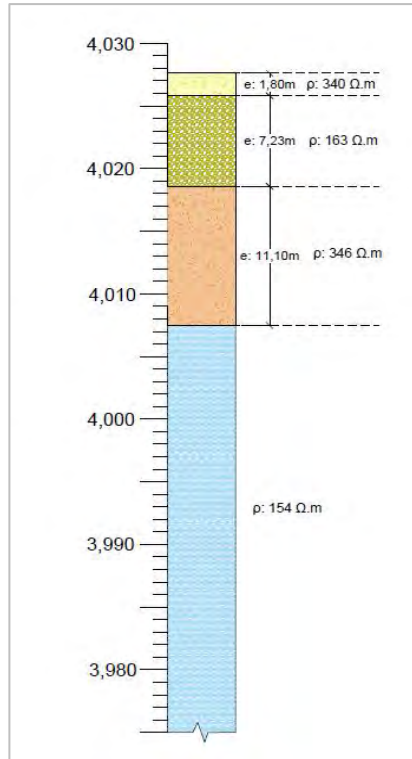
Curva de resistividad - SEV 04



Fuente: Elaboración propia

Figura 39

Columna estratigráfica - SEV 04



Fuente: Elaboración propia

8.4.5. SEV – 05

La ubicación del punto fue alejada de la zona del embalse, en presencia de material rocoso, la curva se ajusta al modelo teórico del software IPI2win, en el cual por el tipo de curvatura representa un terreno con presencia de tres capas o estructuras, debido a que tiene un valor superficial de resistividad y conforme aumenta la profundidad de investigación el valor disminuye y luego va aumentando gradualmente.

En el sondaje se estimó tres valores de resistividad aparente: 155.6 Ωm , 68 Ωm y 260.5 Ωm , es decir que corresponden a valores de dos capas con espesores definidos:

3.5m y 4.4m respectivamente, y el último valor de resistividad 260.5Ωm, no presenta un espesor definido.

Tabla 61

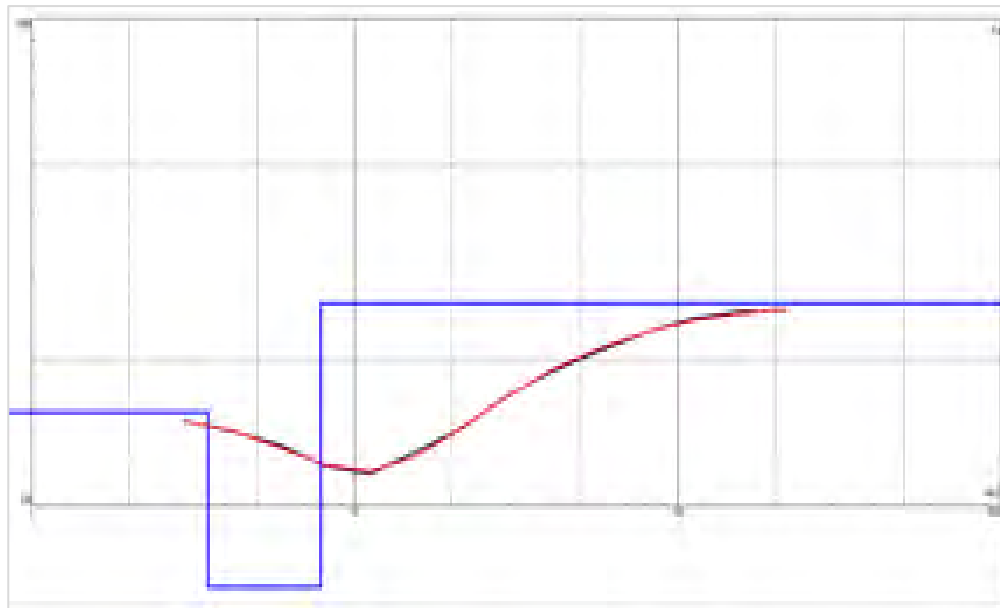
Valores de resistividades, espesores y profundidades - SEV 05

Horizonte	SEV 05			Descripción del material
	ρ_1 (Ωm)	E_1 (m)	P_1 (m)	
01	155.6	3.5	3.5	Material superficial resistivo asociado a areniscas compactas en presencia de gravas.
02	68	4.4	7.9	Material de baja resistividad con contenido de humedad asociado posiblemente a areniscas y materiales finos compactados.
03	206.5	-	-	Material medianamente resistivo asociado posiblemente a presencia de roca blanda con alto grado de alteración.

Fuente: Elaboración propia

Figura 40

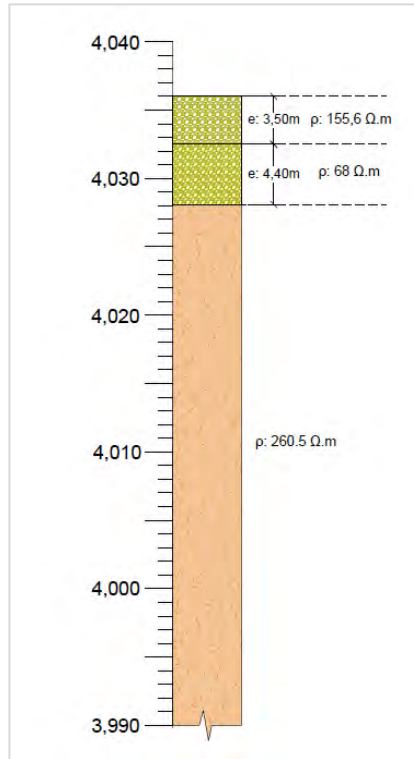
Curva de resistividad - SEV 05



Fuente: Elaboración propia

Figura 41

Columna estratigráfica - SEV 05



Fuente: Elaboración propia

8.4.6. SEV – 06

El terreno sondeado presenta tres capas o estructuras, se realizó en una zona fuera del embalse de presa con una longitud de tendido de 100 metros llegando así a una profundidad de investigación de hasta 30 metros aproximadamente. En el sondaje se estimó tres valores de resistividad aparente: 314Ωm, 1927Ωm y 367Ωm, es decir que corresponden a valores de dos capas con espesores definidos: 7.45m y 6.64m respectivamente, y el último valor de resistividad 367Ωm, no presenta un espesor definido.

Tabla 62

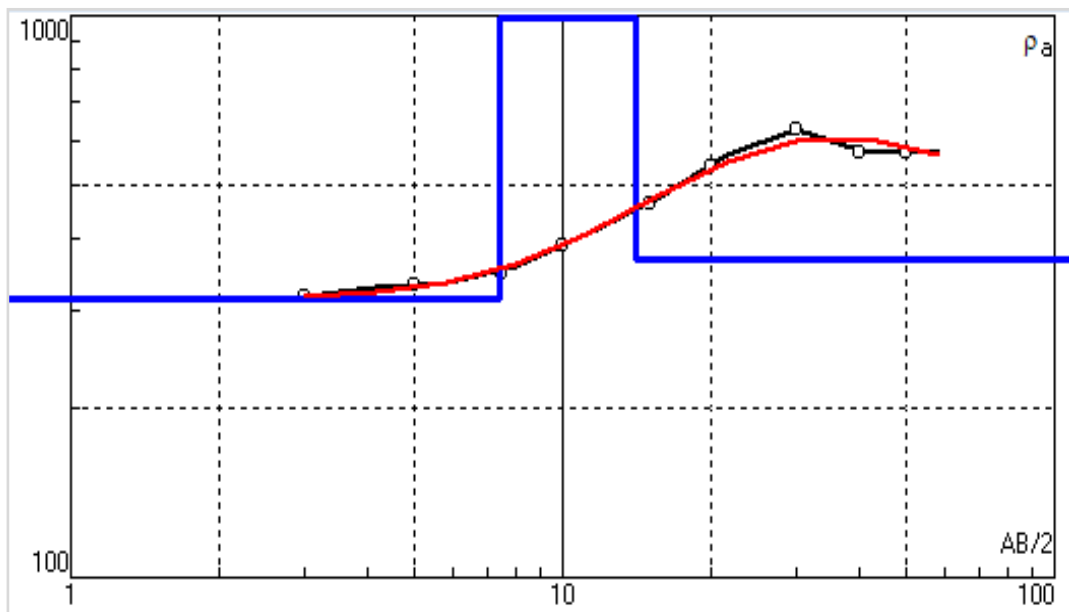
Valores de resistividades, espesores y profundidades – SEV 06

Horizonte	SEV 06			Descripción del material
	ρ_1 (Ωm)	E_1 (m)	P_1 (m)	
01	31.4	7.45	7.45	Material superficial medianamente resistivo asociado gravas con alto grado de compacidad.
02	1927	6.64	14.09	Material altamente resistivo asociado posiblemente a roca o bolonería, ligeramente alterado.
03	367	-	-	Material resistivo asociado posiblemente a presencia de gravas con contenido de tobas o roca blanda.

Fuente: Elaboración propia

Figura 42

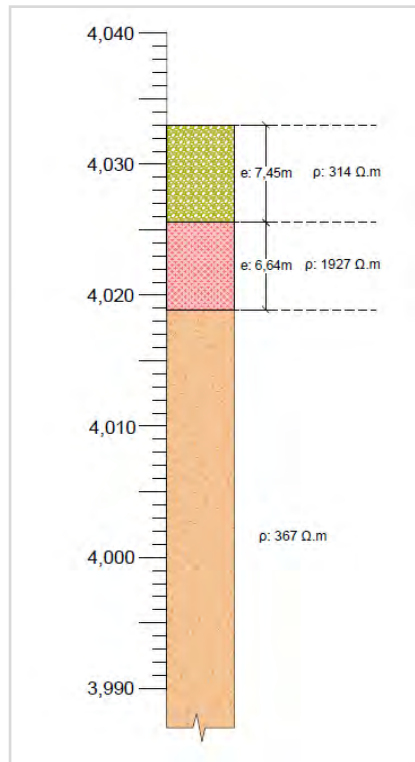
Curva de resistividades - SEV 06



Fuente: Elaboración propia

Figura 43

Columna estratigráfica - SEV 06



Fuente: Elaboración propia

8.5. PERFILES GEOELÉCTRICOS

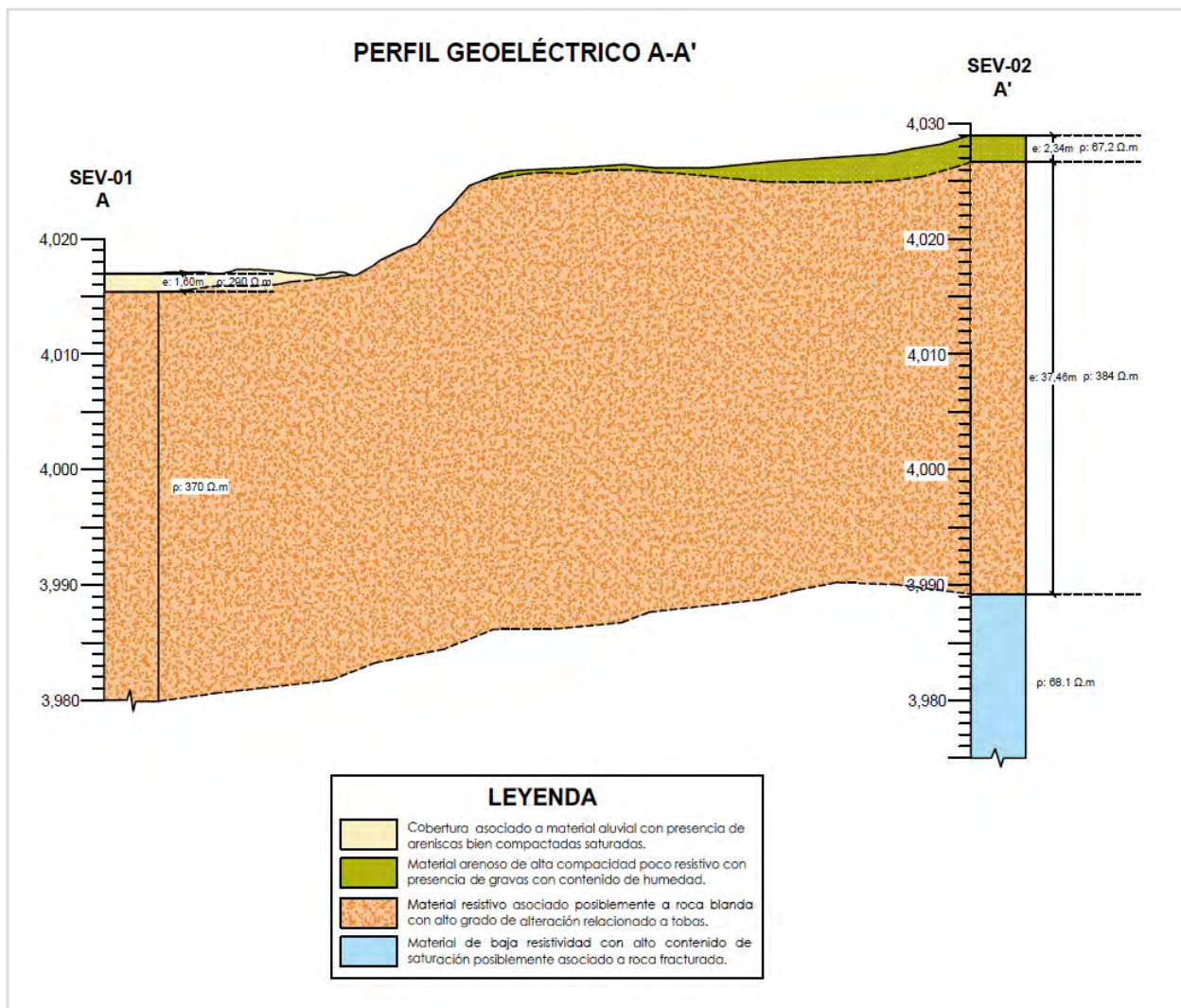
Teniendo las columnas geoelectricas correspondientes a cada SEV, se realizaron perfiles que correlacionan mejor las unidades litológicas encontradas, debido a la disposición en la ubicación de cada SEV es que se hizo los perfiles cada dos sondajes para tener una mejor visualización del perfil, los materiales encontrados se diferencian según los valores de resistividad que presentan y se unieron en función a los mismos y los contactos entre cada estrato de los perfiles fueron asumidos teniendo en cuenta la distribución de los estratos para cada metro.

8.5.1. PERFIL A - A'

EL perfil correlaciona los resultados de valores de los sondeos 01 y 02, encontrándose distanciados unos 170m aproximadamente, el cambio a desnivel existente entre ambos puntos muestra la presencia de dos tipos de materiales diferentes encontrándose así un tercer material que sólo se aprecia en el SEV-02, ya que se pudo llegar a una mayor profundidad de investigación.

Figura 44

Perfil Geoelectrico A – A'



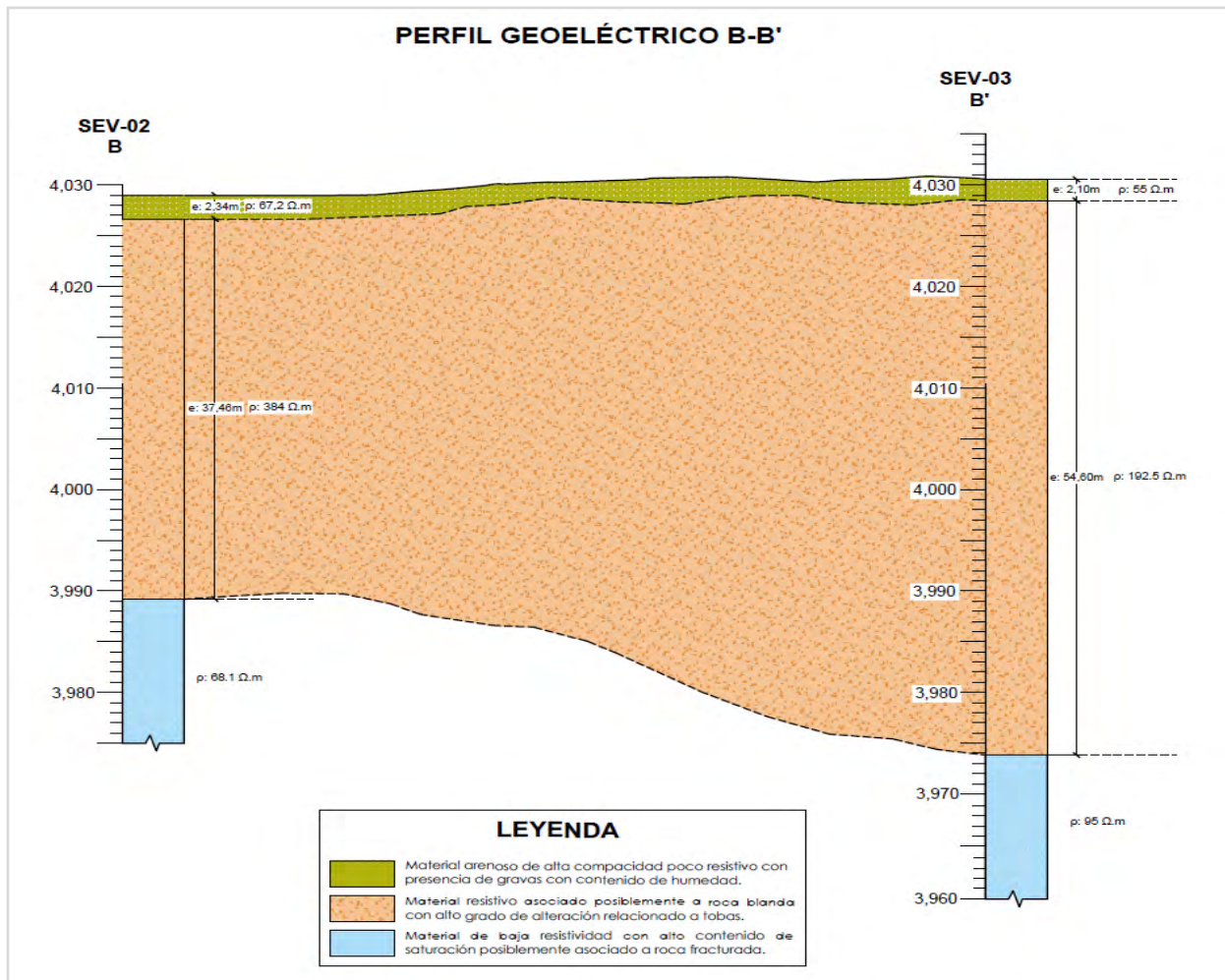
Fuente: Elaboración propia

8.5.2. PERFIL B – B´

EL perfil correlaciona los resultados de valores de los sondajes 02 y 03, encontrándose distanciados unos 70m aproximadamente, los materiales definidos fueron correlacionados dependiendo de los valores de resistividad que presentan, se encontraron tres estratos bien diferenciados la continuidad de los contactos fue asumida dependiendo de la topografía entre ambos puntos y de acuerdo con los valores de las potencias para cada sondaje.

Figura 45

Perfil Geoelectrico B - B´



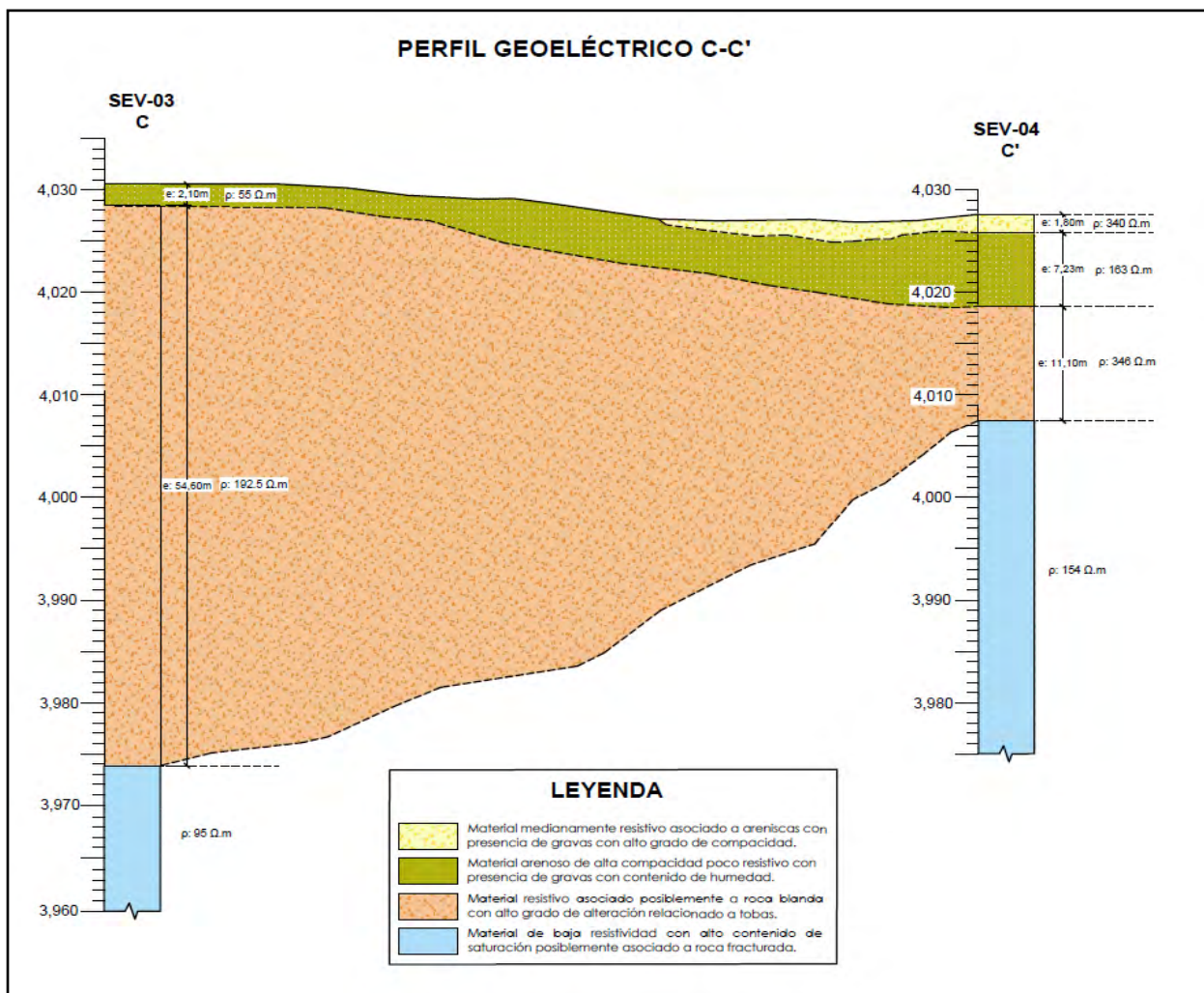
Fuente: Elaboración propia

8.5.3. PERFIL C – C´

EL perfil correlaciona los resultados de valores de los sondajes 03 y 04, distanciados unos 178m aproximadamente, los materiales definidos fueron correlacionados dependiendo de la topografía, valor de resistividad que presentan y de las potencias de cada sondaje encontrándose así tres estratos bien diferenciados y un estrato superficial en el sondaje 04 que por las características de sus propiedades físicas no se correlaciona con el sondaje 03.

Figura 46

Perfil Geoelectrico C – C´



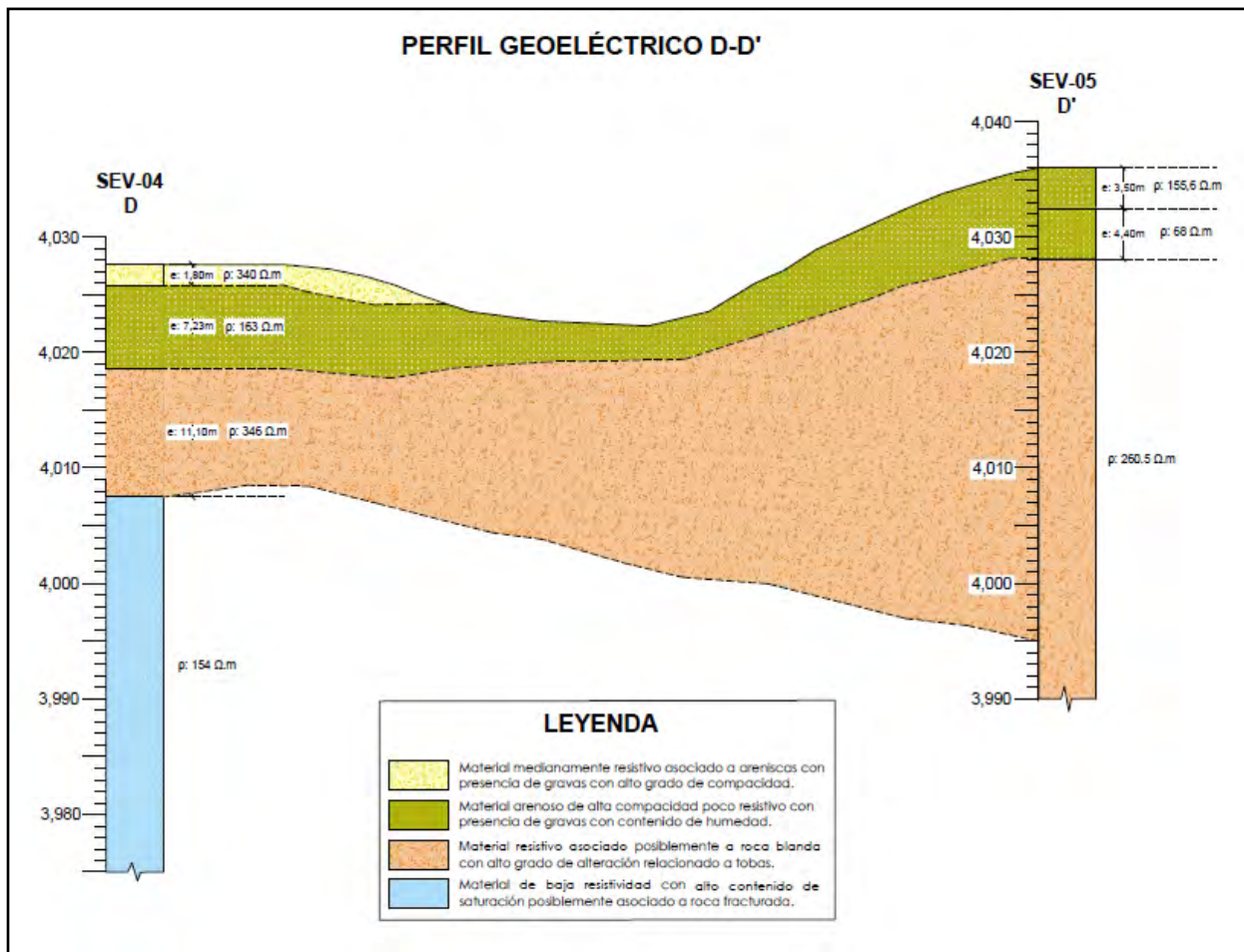
Fuente: Elaboración propia

8.5.4. PERFIL D – D´

EL perfil correlaciona los resultados de los valores de los sondajes 04 y 05, distanciados unos 190m aproximadamente, se encontraron dos estratos bien diferenciados, un estrato superficial en el sondaje 04 que por las características de sus propiedades físicas no se correlaciona con el sondaje 05 y un estrato inferior del sondaje 04 que no se detectó en el sondaje 05, los materiales definidos fueron correlacionados dependiendo de la topografía, valor de resistividad que presentan y de las potencias de cada sondaje.

Figura 47

Perfil Geoelectrico D – D´



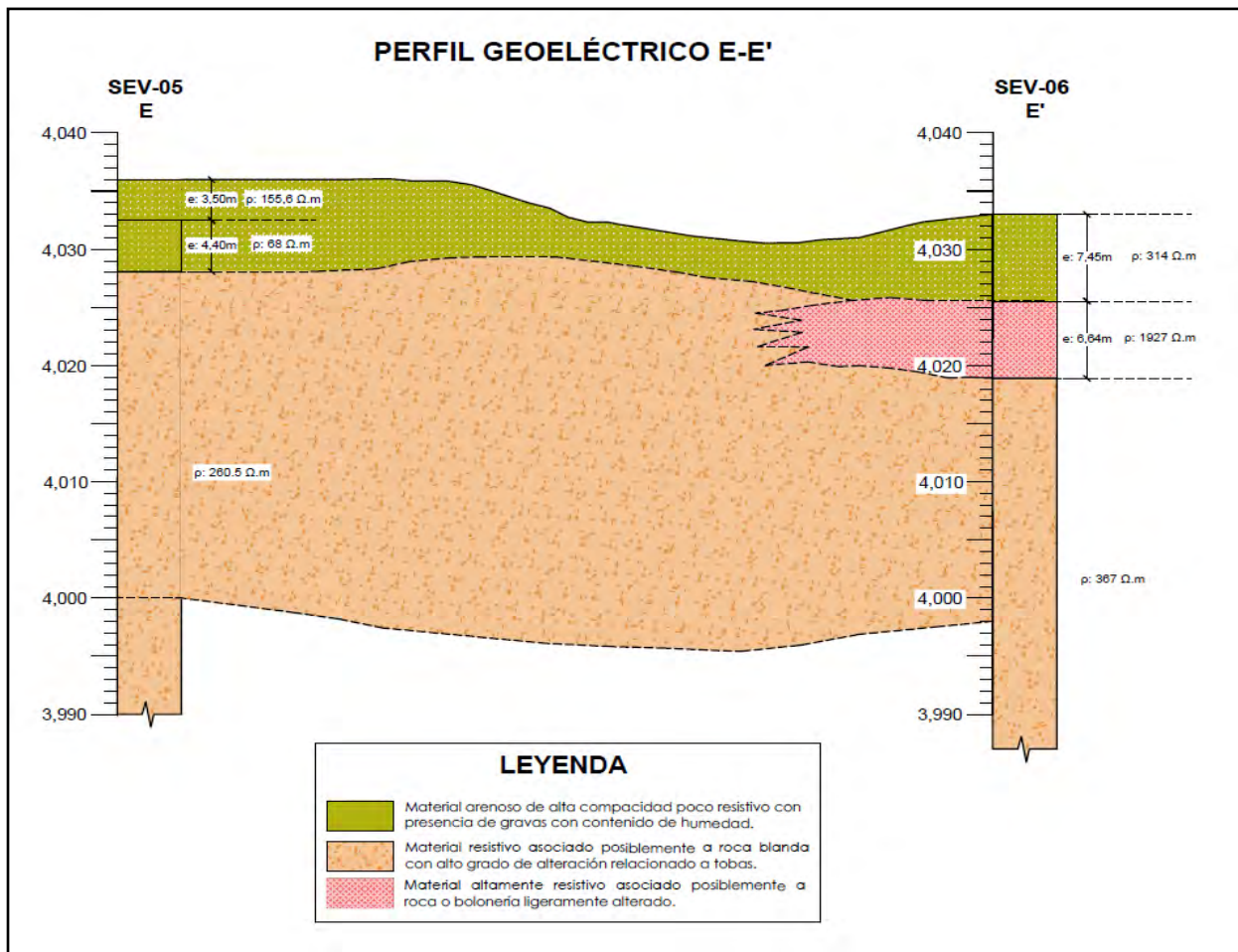
Fuente: Elaboración propia

8.5.5. PERFIL E – E´

EL perfil correlaciona los resultados de los valores de los sondajes 05 y 06, distanciados unos 240m aproximadamente, se encontraron dos estratos bien diferenciados (Ver figura 53) y un tipo de material en el sondaje 06 de alta resistividad que corresponde a una roca bien compacta con una potencia que varía de 5 a 6 metros, lo cual representa un contraste inmerso en el segundo estrato del sondaje 06, los materiales definidos fueron correlacionados dependiendo de la topografía, valor de resistividad que presentan y de las potencias de cada sondaje.

Figura 48

Perfil Geoelectrico E – E´´



Fuente: Elaboración propia

8.6. TOMOGRAFIA ELÉCTRICA

En su sentido más amplio la Tomografía Eléctrica es una técnica geofísica para el estudio del subsuelo que consiste en determinar la distribución de un parámetro físico característico del mismo dentro de un ámbito espacial limitado, a partir de un número muy elevado de medidas realizadas desde la superficie del terreno o desde perforaciones.

La Tomografía Eléctrica tiene por objetivo específico determinar la distribución real de la resistividad del subsuelo en el ámbito comprendido entre dos perforaciones o bien "hasta un cierto rango de profundidad a lo largo de un perfil de medida, a partir de los valores de resistividad aparente obtenidos mediante medidas realizadas por métodos convencionales de corriente continua. En esta presentación nos limitaremos a los estudios realizados sobre perfiles desde la superficie del terreno.

Trabajos de campo

En la tomografía eléctrica, para la obtención de datos se dispuso en campo el arreglo dipolo – dipolo, el cual consistió en colocar los electrodos en superficie de forma equiespaciada, intentando siempre que formen una línea recta. Los electrodos se clavarán en el terreno lo suficiente como para garantizar un buen contacto electrodo-suelo, una vez colocados los conectaremos el cable por medio de los conectores.

A través del portátil configuraremos todas las variables del dispositivo: número de electrodos utilizados, distancia entre ellos, dispositivo electrónico de medida, así como el número de medidas que queremos realizar. Una vez está todo dispuesto, se inicia la

secuencia de medidas que vayamos predeterminado, proceso que tardará más o menos tiempo en función del número de medidas a realizar.

La profundidad de investigación teórica alcanzada esta entre 21 a 25 metros aproximadamente. A continuación, se describe las coordenadas de la línea de Tomografía adoptada en campo:

Tabla 63

Coordenadas UTM de líneas de Tomografía Eléctrica

LINEA	INICIO		FINAL		LONGITUD (m)	UBICACIÓN
TE – 01	235947.71	8349585.61	236107.88	8349390.30	200	Paralela al eje
TE – 02	235994.82	8349625.73	236088.69	8349507.44	250	Paralela al eje

Fuente: Elaboración propia

Interpretación de resultados

Nuestro objetivo es obtener un modelo 2D de resistividades reales a partir de la pseudosección de resistividades aparentes obtenida del terreno. para ello se precisará un programa de inversión. Las técnicas de inversión que existen hoy en día se pueden clasificar en dos grandes grupos:

Block inversion method: método ideal para la delimitar con bastante precisión la geometría de cuerpos con resistividades muy diferenciadas entre sí.

Smoothness-constrained inversion method: Es en realidad el método de inversión óptimo para el análisis de problemas en donde tengamos variaciones graduales de resistividad en el terreno, como por ejemplo en filtraciones de agua o vertidos de

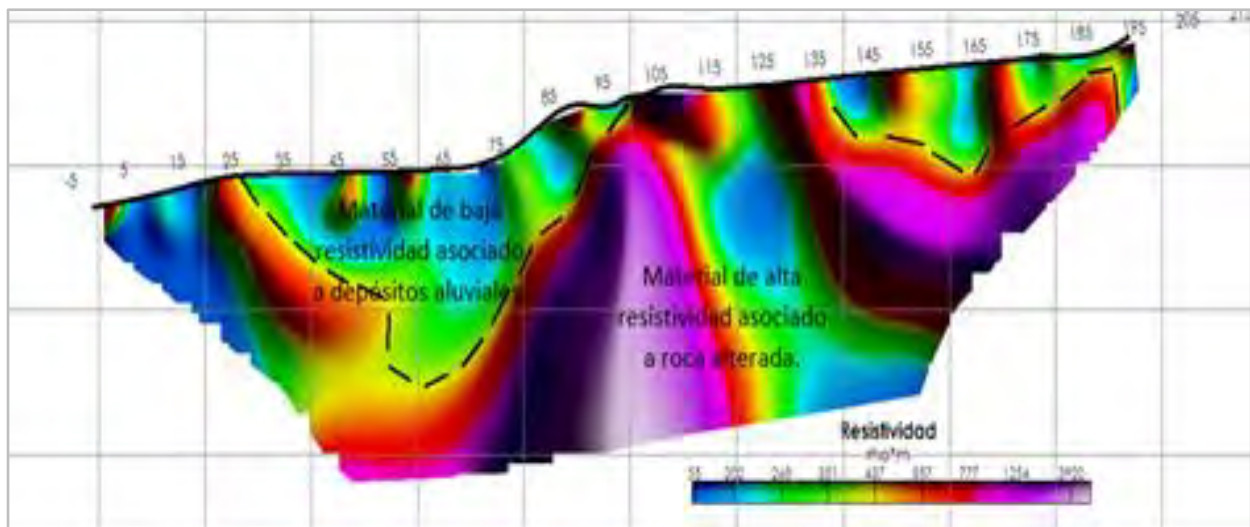
contaminantes. Además, este método presenta la gran ventaja de que no requiere de un modelo inicial, a partir del cual empezará el proceso iterativo.

8.6.1. TE – 01

La línea fue realizada de manera paralela al eje de presa abarcando una longitud de 200 metros aproximadamente, en la pseudosección se observan dos tipos de materiales que fueron determinados según las variaciones de valores de resistividad presentes, un material de valores bajos de resistividad que va de 55 ohm.m a 202 ohm.m, debido a que el material pueda contener cierto grado de humedad o saturación en la zona y un material más resistivo con valores que van entre 1254 ohm.m a 3920ohm.m

Figura 49

Modelo de sección de resistividad - TE 01



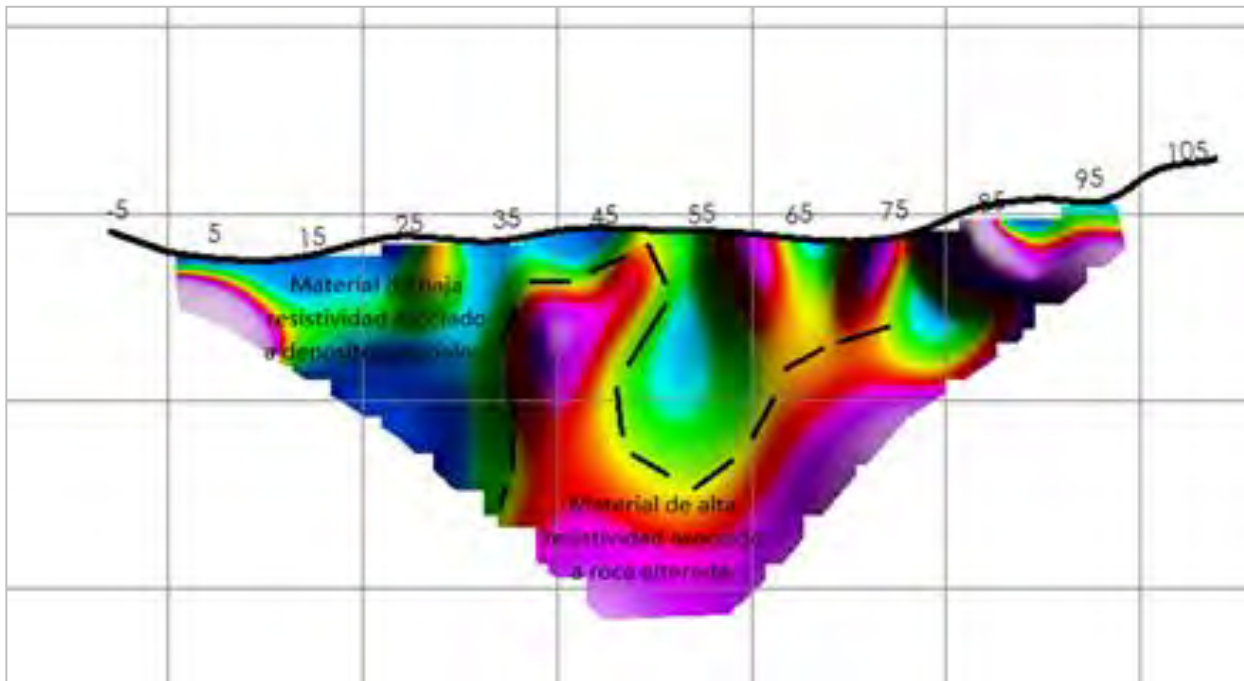
Fuente: Elaboración propia

8.6.2. TE – 02

La línea fue realizada de manera paralela al eje de presa en la cual se observan dos tipos de materiales, un material de valores bajos de resistividad que va de 55 ohm.m a 200 ohm.m y un material resistivo con valores que van entre 1100 ohm.m a 3850 ohm.m, a medida que los materiales presenten contenido de humedad son más conductores, por ello en la zona al margen derecho del cauce del río se observa dicho comportamiento que va cambiando según la profundidad de investigación encontrándose materiales más resistivos al paso de corriente asociados a tobas que subyacen el material superficial.

Figura 50

Modelo de sección de resistividad - TE 02



Fuente: Elaboración propia

CAPITULO IX: GEOTECNIA

9.1. ALCANCES DEL ESTUDIO GEOTÉCNICO

De acuerdo a los fines objetivos del proyecto de tesis, "Estudio Geológico, Geotécnico para la Construcción de la Presa Huayllumayo", se ha realizado investigaciones directas, bajo la exploración de seis (06) calicatas y cinco (05) sondajes diamantinos, así mismo se realizó ensayos in-situ y los correspondientes ensayos en laboratorio, las cuales nos permitirán definir; el perfil estratigráfico, las condiciones mínimas de cimentación, el tipo y profundidad de los cimientos, capacidad portante admisible y asentamientos.

9.2. INVESTIGACIONES GEOTECNICAS EN EL VASO Y EJE DE LA PRESA

Para la correcta evaluación de las condiciones de cimentación de la presa, y de los materiales de préstamo, se llevó a cabo un programa de investigaciones básicas que consistieron esencialmente en prospecciones directas e indirectas, las que permitieron obtener los suficientes elementos de juicio para una comprensión adecuada de las características geotécnicas del subsuelo de cimentación de la principal estructura del Proyecto, así como de los materiales de préstamo; consecuentemente los parámetros geotécnicos a utilizarse en el diseño y el tratamiento que deberá darse a la cimentación de la presa.

A continuación, se presenta una breve descripción de las investigaciones básicas de campo y laboratorio ejecutadas dentro del marco del presente estudio.

9.2.1. Investigación Geotécnica mediante Calicatas

Se llevó a cabo la investigación de 06 calicatas en la presa, las que fueron correctamente ubicadas y ejecutadas a lo largo del área de estudio con el fin de proporcionar una evaluación de las condiciones geotécnicas de los materiales de cimentación. Las calicatas propuestas para la investigación fueron ejecutadas manualmente. La profundidad máxima alcanzada fue de 2.40 m, para cada calicata se llevó a cabo un registro detallado y muestreo de los diferentes materiales existentes.

Tabla 64

Coordenadas UTM de calicatas ejecutadas

Ítem	Código	Este	Norte	Cota	Ubicación
1	C-01	236034	8349441	4041	Vaso de presa
2	C-02	235973	8349130	4036	Eje de presa
3	C-03	235955	8349122	4035	Vaso de presa
4	C-04	235871	8349201	4035	Vaso de presa
5	C-05	235748	8349130	4035	Vaso de presa
6	C-06	235995	8349399	4040	Vaso de presa

Fuente: Elaboración propia

De acuerdo con los estudios con la descripción de campo corregidas y de laboratorio de suelos se obtuvieron suelos de origen aluvial y fluvial principalmente, materiales de limo arenosos con gravas seguido de gravas y arenas de origen fluvial en la zona de cause de rio a profundidad de entre 1.00 m. a 1.80m.

En la zona de cause de rio se encontró nivel freático a profundidad de entre 0.20 a 0.40m, y en la zona de margen derecho de vaso hasta los 1.50 m. no se encontró nivel freático.

9.2.1.1. Descripción Estratigráfica

Tabla 65

Clasificación de suelos SUCS, de calicatas ejecutadas

Código	Este	Norte	Cota	Profundidad (m)	Horizonte	Clasificación SUCS	Potencia de estrato		Ubicación
							Desde	Hasta	
C-01	236034	8349441	4041	1.50	A	PT	0.00	0.10	Vaso de presa
					B	GP-GC	0.10	0.40	
					C	SC – SM	0.40	0.78	
					D	Boloneria	0.78	1.50	
C – 02	235980	8349594	4036	2.40	A	GW	0.00	1.60	Eje de presa
					B	SP	1.60	1.80	
					C	SW	1.80	2.40	
C – 03	235955	8349122	4035	1.70	A	PT	0.00	0.20	Vaso de presa
					B	SP – SM	0.20	1.40	
					C	SP	1.40	1.70	
C – 04	235871	8349201	4035	1.40	A	PT	0.00	0.10	Vaso de presa
					B	GP – GM	0.10	0.90	
					C	SP	0.90	1.40	
C – 05	235748	8349130	4035	1.80	A	PT	0.00	0.10	Vaso de presa
					B	GP - GM	0.10	1.10	
					C	SP	1.10	1.50	
					D	GP	1.50	1.80	
C – 06	235995	8349399	4040	1.30	A	PT	0.00	0.10	Vaso de presa
					B	GM – GC	0.10	0.60	
					C	GP – GC	0.60	1.10	
					D	Boloneria	1.10	1.30	

Fuente: Elaboración propia

A. Calicata C – 01

Esta calicata se ha excavado en la zona del vaso de presa, con una profundidad de 1.50 m. con bolonería y ausencia de nivel freático.

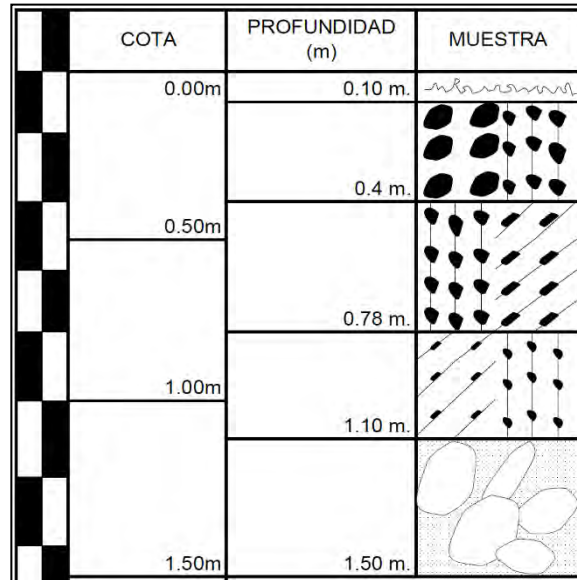
Nivel 1. Suelo orgánico limoso con algo de arena.

Nivel 2. Grava arcillosa mal gradada

Nivel 3. Arena arcillosa mal gradada con grava, debajo del cual se encuentra bolonería.

Figura 51

Perfil estratigráfico calicata C - 01



Fuente: Elaboración propia

B. Calicata C – 02

Esta calicata se ha excavado en la zona del eje de presa, con una profundidad de 2.40 m. con bolonería y/o bloques de roca. y presencia de nivel freático.

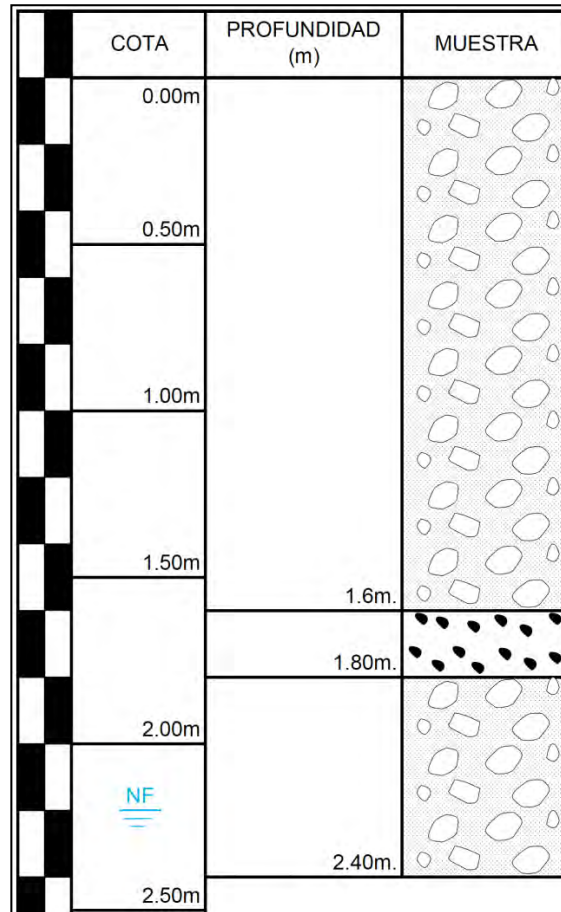
Nivel 1. Grava con algo de arena, mal gradada, con bloques de roca.

Nivel 2. Arena con algo de grava, mal gradada.

Nivel 3. Grava con arena, mal gradada, saturada, Presencia de nivel freático.

Figura 52

Perfil estratigráfico calicata C - 02



Fuente: Elaboración propia

C. Calicata C – 03

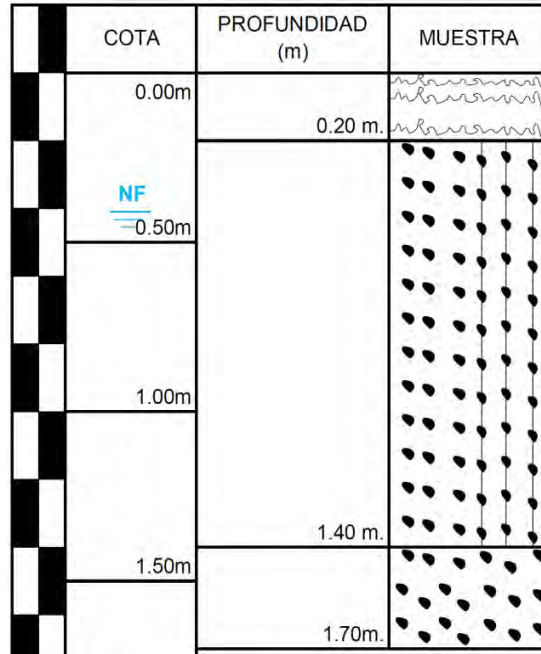
Esta calicata se ha excavado en la zona del vaso de presa, con una profundidad de 1.70 m. con bolonería y presencia de nivel freático.

Nivel 1. Suelo orgánico limo-arenoso.

Nivel 2. Arena limosa con grava, mal gradada. Presencia de nivel freático.

Figura 53

Perfil estratigráfico calicata C - 03



Fuente: Elaboración propia

D. Calicata C – 04

Esta calicata se ha excavado en la zona del vaso de presa, con una profundidad de 1.40 m. con presencia de nivel freático.

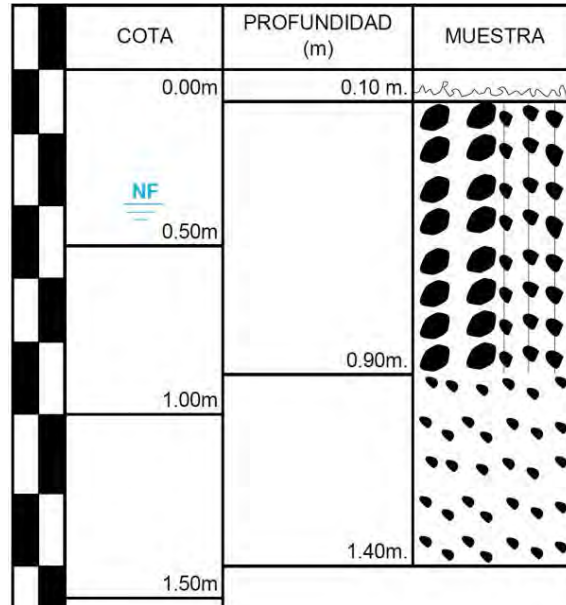
Nivel 1. Suelo orgánico, con limo y arena.

Nivel 2. Grava limosa con arena, mal gradada. Presencia de nivel freático.

Nivel 3. Arena con algo de grava, de grano medio a fino.

Figura 54

Perfil estratigráfico calicata C - 04



Fuente: Elaboración propia

E. Calicata C – 05

Esta calicata se ha excavado en la zona del vaso de presa, con una profundidad de 1.80 m. con bolonería y presencia de nivel freático.

Nivel 1. Suelo orgánico, con limo y algo de arena.

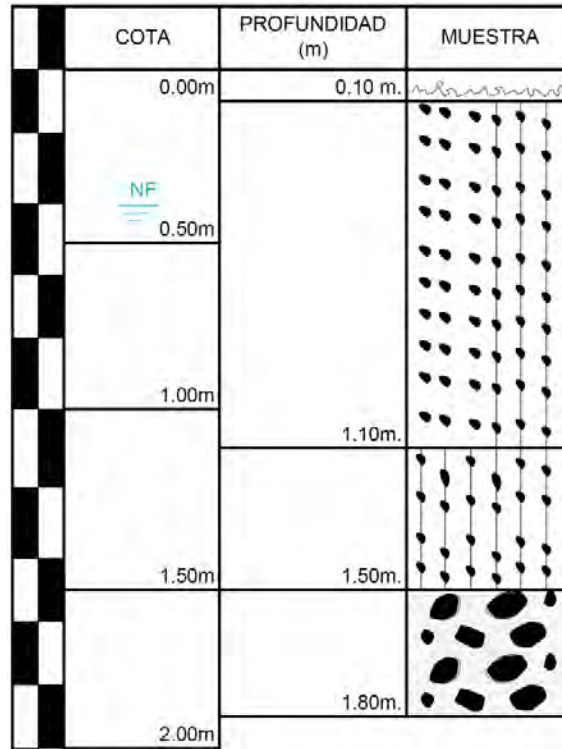
Nivel 2. Grava limosa con arcilla y algo de arena, mal gradada. Presencia de nivel freático.

Nivel 3. Arena limosa con algo de arcilla, mal gradada.

Nivel 4. Grava con arena y algo de bolonería, mal gradada y saturada.

Figura 55

Perfil estratigráfico calicata C - 05



Fuente: Elaboración propia

F. Calicata C – 06

Esta calicata se ha excavado en la zona del vaso de presa, con una profundidad de 1.30 m. con bolonería y ausencia de nivel freático.

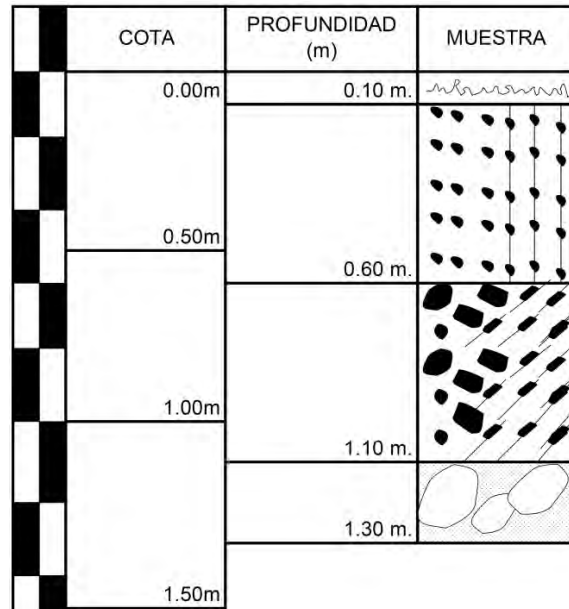
Nivel 1. Suelo orgánico, con limo y algo de arena.

Nivel 2. Grava limosa con arena, mal gradada.

Nivel 3. Arcilla gravosa con algo de limo, debajo del cual se encuentra bolonería.

Figura 56

Perfil estratigráfico calicata C - 06



Fuente: Elaboración propia

9.2.2. Investigación Geotécnica mediante Perforación Diamantina

Se presenta el programa de perforaciones, el cual consta de (05) sondajes distribuidos en el eje de presa (BHPH-01, BHPH-02, BHPH-03, BHPH-04, BHPH-05). Distribuidos para investigar los materiales suprayacentes del cauce de río Huayllumayo, en las que se ha desarrollado los ensayos de permeabilidad, logeo geológico - geotécnico y muestreo de cores de perforación para la evaluación de los parámetros físico-mecánicos, en zonas de materiales fluviales se realizaron pruebas de penetración de tipo Cono Peck.

Tabla 66

Coordenadas UTM perforaciones diamantinas ejecutadas

Ítem	Código	Este	Norte	Cota	Profundidad	Ángulo
1	BHPH – 01	235958	8349595	4015	45.20	-90°
2	BHPH – 02	235986	8349547	4017	46.20	-90°
3	BHPH – 03	236005	8349576	4018	40.10	-90°
4	BHPH – 04	236033	8349485	4031	28.80	-90°
5	BHPH – 05	236078	8349448	4035	27.20	-90°

Fuente: Elaboración propia

A. Ensayos de permeabilidad

Se han realizado ensayos de permeabilidad en suelo del tipo Lefranc (Carga Constante y/o Variable) y ensayos de permeabilidad en roca del tipo Lugeon. Los resultados obtenidos de estas pruebas se muestran en el cuadro siguiente:

Tabla 67

Permeabilidades en las perforaciones de Presa

Sondaje	Tramo (m)	Tipo de ensayo	Permeabilidad cm/s	Unidad Lugeon
BHPH – 01	6.10 – 8.10	Lugeon	2.29 E-03	95.2
	10.50 – 12.50	Lugeon	1.97 E-05	0.8
	15.70 – 17.70	Lugeon	9.87 E-05	4.1
	22.00 – 24.00	Lugeon	4.09 E-05	1.7
	27.10 – 29.10	Lugeon	4.16 E-04	17.3
	31.80 – 33.80	Lugeon	2.52 E-05	1.0
	36.20 – 38.20	Lugeon	1.16 E-04	4.8
	43.20 – 45.20	Lugeon	7.94 E-04	33.0
BHPH – 02	15.60 – 17.60	Lugeon	1.51 E-04	6.3
	23.00 – 25.20	Lugeon	1.21 E-04	4.7
	29.00 – 31.20	Lugeon	2.42 E-02	943.3
	33.80 – 35.80	Lugeon	1.33 E-05	0.6

	38.20 – 40.20	Lugeon	7.60 E-05	3.1
	44.00 – 46.20	Lugeon	1.97 E-04	7.7
BHPH – 03	0.00 – 5.20	Lefranc	1.57 E-01	-
	0.00 – 9.20	Lefranc	1.59 E-02	-
	0.00 – 13.80	Lefranc	2.33 E-02	-
	13.90 – 16.10	Lugeon	1.31 E-04	5.1
	19.90 – 22.10	Lugeon	7.02 E-03	274.0
	24.50 – 26.70	Lugeon	1.77 E-05	0.7
	28.80 – 31.00	Lugeon	1.47 E-04	5.7
	35.50 – 37.70	Lugeon	1.03 E-05	0.4
	37.90 – 40.10	Lugeon	7.74 E-06	0.3
BHPH – 04	3.40 – 6.10	Lugeon	2.82 E-05	1.0
	8.75 – 10.80	Lugeon	8.14 E-05	3.3
	11.90 – 14.10	Lugeon	1.73 E-05	0.7
	17.90 – 19.90	Lugeon	6.82 E-06	0.3
	23.00 – 25.00	Lugeon	0.00 E-00	0.0
	26.80 – 28.80	Lugeon	0.00 E-00	0.0
BHPH – 05	0.00 – 6.00	Lefranc	7.91 E-02	-
	0.00 – 9.20	Lefranc	1.54 E-02	-
	0.00 – 13.20	Lefranc	1.14 E-02	-
	21.20 – 23.20	Lugeon	6.00 E-06	0.2
	25.20 – 27.20	Lugeon	5.04 E-04	20.9

Fuente: Elaboración propia

Nota: Del cuadro anterior se puede observar que las rocas ensayadas tienen permeabilidades de: E-03 a E-04 cm/s (permeables a semipermeables) en la parte superior hasta los 25m, E-04 a E-05 cm/s (Semipermeables a impermeables) para profundidades mayor a 25m; mientras que en las perforaciones BHPH-04 y BHPH-05 hay una permeabilidad de E-02 cm/s. (muy permeable).

B. Logueo Geotécnico de núcleos de perforación

Se presenta una metodología para el levantamiento geotécnico de núcleos de sondajes de diamantina, especialmente para rocas afectadas por meteorización y/o alteraciones geológicas.

Este levantamiento consta de un formato de logueo geotécnico, donde se realiza el levantamiento básico de parámetros geotécnicos por tramos de perforación, como son el inicio de corrida, fin de corrida, la longitud de perforación, longitud de recuperación, mientras que la segunda corresponde a la definición y levantamiento geotécnico de tramos de iso-calidad.

La descripción y análisis de los parámetros geotécnicos básicos de medición en testigos de sondajes de diamantina, como son el RQD, frecuencia de fracturas y espaciamiento se ven entorpecidos por la irregularidad de las muestras obtenidas, las cuales corresponden en algunos casos solamente a roca triturada, o degradada a suelo, o una alternancia de trozos de rocas separados por tramos de roca totalmente alterada.

Debido a lo anterior se ha adoptado la metodología de medir el largo de todos los trozos de testigos limitados por fracturas abiertas de origen geológico, realizando esta medición a través del eje de rotación del testigo. También se ha definido el porcentaje de roca y el de roca molida, se presenta un ejemplo del registro del índice RQD.

BHPH – 01

De 0.00 a 1.00m. Arena limosa con gravas, color pardo oscuro, textura granular, clastos angulosos y redondeados, T máx de gravas 1½".

De 1.00 a 2.40m. Grava limosa con arena y bolonería, color gris claro a rojizo, de origen coluvial, clastos redondeados a subredondeados, T máx de gravas 3”.

De 2.40 a 3.30m. Arena con gravas, color pardo oscuro, suelto, origen fluvial, Arena 80%, Gravas 10%, Finos 10%.

De 3.30 a 45.20m. Toba ignimbrita, ligeramente alterada, húmedo a saturado, color gris rojizo, presenta micro cristales de Qz, Plg, Ca, Micas y Magnetita.

BPH – 02

De 0.00 a 0.60m. Gravas con arena, gris claro a pardo, mal gradada, clastos angulosos a subangulosos, T máx 1½”.

De 1.50 a 1.90m. Arena con grava, clastos angulosos a sub angulosos, T máx ½”

De 1.90 a 9.20m. Grava con arena, bien gradada, clastos redondeados a subredondeados, T máx 2½”.

De 9.20 a 46.20m. Toba ignimbrita, ligeramente alterada, color gris rojizo, húmedo a saturado, presenta micro cristales de Qz, Plg, Ca, Micas y Magnetita.

BPH – 03

De 0.00 a 8.30m. Grava con arena, color gris pardo, suelto, mal gradado, polimíctico de origen fluvial, clastos redondeados a subredondeados, grava T máx 3”, bolonería T máx 5½”.

De 8.30 a 11.30m. Arena limosa con grava, gris oscuro, mal gradada, clastos redondeados, T máx 1½”.

De 11.30 a 40.10m. Toba ignimbrita, gris rojizo, ligeramente alterada, húmedo a saturado, presenta micro cristales de Qz, Plg, Ca, Magnetita.

BHPH – 04

De 0.00 a 0.60m. Limoarenosa con grava y algo de arcilla, pardo oscuro,

De 0.60 a 1.60m. Grava limoarenosa, pardo claro, bien gradado, fragmentos subangulosos, T máx de gravas 2½”.

De 1.60 a 28.80m. Toba (ignimbrita), gris rojizo, ligeramente alterada, húmedo a saturado, presenta micro cristales de Qz, Plg, Ca, Magnetita, así mismo fracturas con relleno de oxidos.

BHPH – 05

De 0.00 a 1.00m. Arena limosa con grava, medianamente denso, húmedo, pardo oscuro, fragmentos redondeados a subredondeados, Tmáx de gravas ½”

De 1.00 a 19.10m. Grava con arena, denso, húmedo, gris oscuro, presenta fragmentos redondeados a subredondeados, T máx de gravas 1”.

De 19.10 a 27.20m. Toba (ignimbrita), gris rojizo, ligeramente alterado, húmedo a saturado, presenta micro cristales de Qz, Plg, Ca, así mismo fracturas abiertas con oxidos.

9.3. DESCRIPCIÓN GEOTÉCNICA DEL SUBSUELO DE CIMENTACIÓN

La zona de presa Huayllumayo está conformada por suelos con intercalaciones de afloramientos rocosos, en términos generales se tiene desde el margen izquierdo, una zona de escarpas, morrenas y terrazas y que eventualmente se deslizan por la acción del intemperismo y la gravedad.

La zona cause del rio Huayllumayo presenta una zona de planicie de inundación que está conformada por materiales sueltos (gravas, arenas, bolonería y bloques de roca) de alta permeabilidad. Al límite de esta zona se tiene un afloramiento de rocas volcánicas Toba del tipo ingnimbrita de tonalidad rosáceo y calidad media, con fracturamiento moderado, se encuentra en forma masiva formando una zona de escarpas. Seguido de estas formaciones se tienen una zona de colina baja con inclinación de 5° a 10°, conformada por una capa de materiales aluviales (bolonería, grava, arena y limos), en la línea del eje de la presa se tiene una potencia de 1.60m, subyaciendo a este estrato se presenta formaciones rocosas volcánicas de la misma formación del entorno.

Dada la importancia de los estudios de la cimentación de la presa Huayllumayo, se le ha dividido en tres partes descriptivas que son:

- Estribo Izquierdo,
- Estribo Derecho.
- Cauce del Rio

9.4. EVALUACIÓN GEOTECNICA DEL ESTRIBO IZQUIERDO

Para una mejor evaluación de las características geotécnicas de los materiales constituyentes del Estribo Izquierdo, se han considerado cinco aspectos fundamentales que son:

- Evaluación de los Perfiles Estratigráficos
- Características físico-mecánicas.
- Clasificación Geomecánica de Bienawsky
- Evaluación Geofísica
- Evaluación de la Permeabilidad

9.4.1. Evaluación de Perfiles Estratigráficos

En el Estribo Izquierdo se ha realizado la perforación diamantina (DHPH-01) con profundidad total de 45.20 m, en el cual se ha encontrado materiales con la siguiente descripción estratigráfica:

Arenas limosas y gravas pertenecientes a depósitos Morrénicos, así mismo se presenta roca ígnea volcánica "Toba" del tipo soldada (ignimbrita) perteneciente al Grupo Barroso (Calder Caylloma), con fracturamiento moderado a fuerte, porosidad alta, se muestra masivo y en estado húmedo a saturado, se evidencia microcristales de cuarzo, plagioclasa y micas.

El nivel freático se encuentra a 1.50 metros.

9.4.2. Características Físico Químico-Mecánicas

Las características físicas-mecánicas del material rocoso de tipo ignimbrita con nivel de fracturamiento moderado que constituye el estribo izquierdo son:

Sondaje : DHPH-01

Código de muestra : MNDH1-01, MNDH1-02, TXDH01-01

Se realizaron pruebas en laboratorio certificado, de muestras en superficie y de los testigos de perforación, los cuales nombramos a continuación:

- Abrasión Los Ángeles
- Resistencia a la compresión simple
- Propiedades físicas de la roca
- Ensayo triaxial en roca.
- Ensayo de durabilidad al sulfato de sodio y sulfato de magnesio

A continuación, presentamos un cuadro resumen de los resultados obtenidos de las pruebas de laboratorio realizadas:

Tabla 68

Propiedades físico-químicas de la roca del sondaje DHPH-01

Sondaje	Código de muestra	Profundidad		Litología	Ubicación	Cohesión (Mpa)	Angulo de fricción (°)	Resistencia a la compresión simple	Densidad (g/cm ³)	Peso específico (g/cm ³)	Porosidad aparente (%)	Peso específico aparente (kN/m ³)	Absorción (%)
		Desde	Hasta										
DHPH - 01	MNDH1-01	17.47	17.70	Toba (ignimbrita)	Estribo izquierdo	-	-	228	1.552	-	19.61	15.23	19.07
	MNDH1-02	34.75	35.00			-	-	98	1.526	-	32.64	14.97	21.58
	TXDH1-01	38.20	38.72			28.49	5.72	-	-	-	-	-	-

Fuente: Elaboración propia

Presentamos las características de la roca superficial del estribo izquierdo en el siguiente cuadro:

Tabla 69

Propiedades físico-químicas de la roca superficial del estribo izquierdo

Código de muestra	Litología	Ubicación	Resistencia a la compresión simple (kg/cm ²)	Peso específico (g/cm ³)	Densidad (g/cm ³)	Absorción (%)	Porosidad aparente (%)	Peso específico aparente (kN/m ³)	Abrasión de los Angeles (% pérdida)	Durabilidad sulfato de sodio y magnesio (%)
MRED - 01	Toba (Ignimbrita)	Estribo Izquierdo	269	2.309	1.822	11.57	21.09	17.877	39.3	49.8

Fuente: Elaboración propia

A. Análisis de las propiedades resistentes

Dentro de las propiedades resistentes se obtuvo un valor de resistencia a la compresión simple de 269 kg/cm² que corresponde al índice UCS, que se mide en unidades Mpa, dando un valor de **26.38 Mpa**, de acuerdo al siguiente cuadro presenta una condición "débil".

Tabla 70

Clasificación de las rocas respecto a su resistencia a la compresión simple

Resistencia Mpa	Condición	Descripción
5 a 20	Muy débil	Sedimentarias alteradas y debidamente compactadas.
20 a 40	Débil	Sedimentarias debidamente cementados.
40 a 80	Resistencia media	Sedimentarias competentes y rocas ígneas cuarzosas de densidad un poco baja.
80 a 160	Resistencia alta	Areniscas de grano fino.
160 a 320	Resistencia muy alta	Cuarcitas, rocas ígneas densas de grano fino.

Fuente: Manual de diseño de obras civiles, B.3,4 México, Comisión Federal de Electricidad, 1979

A continuación, se presenta la clasificación de acuerdo a su resistencia a compresión por distintos autores que clasifican la roca en función al rango de valores.

Tabla 71

Clasificación de la roca por distintos autores en función a rango de valores

Resistencia a la compresión (Mpa)	ISMR (1981)	Geological Society of London (1970)	Bieniawski (1973)	Ejemplos
< 1	Suelos			
1 a 5	Muy blanda	Blanda >1.25	Muy baja	Sal, lutitas, limolita, marga, toba, carbón
5 a 12.5	Blanda	Moderadamente blanda	Baja	
12.5 a 25		Moderadamente dura		
25 a 50	Moderadamente dura			Esquisto, pizarra
50 a 100	Dura	Dura	Media	Rocas metamórficas, esquistos, mármol, granito, gneiss, arenisca, caliza porosa
100 a 200	Muy dura	Muy dura	Alta	Rocas ígneas y metamórficas, areniscas muy cementadas, caliza dolomía
> 200		Extremadamente dura	Muy alta	Cuarcita, gabro, basalto
> 250	Extremadamente dura			

Fuente: Ingeniería Geológica, Gonzales de vallejo, Cuadro 3.10, pág. 133, España.

De acuerdo a la tabla 71, se puede clasificar: Según la ISMR (1981) como “moderadamente dura”, según la Geological Society of London (1970) como “moderadamente dura”, y según Bieniawski (1973) como “baja”.

B. Cálculo de la capacidad admisible

Método de Serrano y Olalla

Para calcular la Tensión Admisible del terreno en estos materiales se ha utilizado el método desarrollado por Serrano y Olalla (2001) cuya formulación integra parámetros geomecánicos establecidos por los autores Hoek y Brown (1977) en función de las características del macizo rocoso (naturaleza de la roca, resistencia a compresión, carga

puntual sobre muestras de roca, índice RQD., espaciado y estado de las discontinuidades, filtraciones y presencia de agua, etc.). El coeficiente de seguridad a introducir (F) tiene en cuenta las variaciones estadísticas de los parámetros de la roca y la probabilidad de rotura del cimientado (F_p), además considera las incertidumbres relacionadas con el criterio de rotura del macizo rocoso (F_m). El cálculo se desarrolla mediante las siguientes ecuaciones:

$$P_h = \beta \cdot (N_\beta - \xi) \qquad P_{adm} = \frac{P_h}{F} \qquad F = F_p \cdot F_m$$

Donde:

P_H = Carga de hundimiento (MPa)

P_{adm} = Carga admisible (MPa)

F = Coeficiente de seguridad global (adimensional)

F_p y F_m = Coeficientes de seguridad parciales (adimensional)

N_β = Coeficiente de carga de hundimiento. Obtenido a partir de los ábacos de Serrano y Olalla, 1998.

β y ξ = Parámetros que definen el comportamiento de la matriz rocosa.

$$\beta = \frac{m_0 \cdot \sigma_c}{8} \cdot e^{\left(\frac{RMR-100}{a}\right)} \text{ (MPa)}$$

$$\xi = \frac{8}{m_0^2} \cdot e^{\left(\frac{RMR-100}{a} / (a-2 \cdot b)\right)} \text{ (adimensional)}$$

m_0 = Constante característica de la matriz rocosa (adimensional).

σ_c = Resistencia a la compresión simple de la matriz rocosa (MPa)

RMR = Índice Rock Mass Ratio, Bieniawski, 1986

α = Parámetro adimensional. Para rocas no alteradas por voladuras toma el valor de 28 y para rocas afectadas por voladuras toma el valor de 14.

b = Parámetro adimensional. Para rocas no alteradas por voladuras toma el valor de 9 y para rocas afectadas por voladuras toma el valor de 6.

Existen métodos que se utilizan en aquellos casos en los que el medio rocoso se puede suponer que es homogéneo e isotrópico, como es el caso de la zona de estudio.

Figura 57

Carga admisible de cimentaciones en roca basada en un criterio de rotura no lineal

Carga admisible de cimentaciones en roca basada en un criterio de rotura no lineal			
<small>(para una inclinación de la carga aplicada de 0°)</small>			
$\sigma_c (q_u)$ =	Resistencia a la compresión simple de la roca.	228.00 kg/cm ²	22.359 Mpa
RMR =	Clasificación geomecánica de la roca según Bieniawski.	65 %	65 %
m_0 =	Parámetro m para rocas intactas.	15	15
i_1 =	Inclinación de la carga sobre la cimentación.	0 °	0 °
γ =	Peso específico.	1.52 gr/cm ³	14.91 KN/m ³
H (D) =	Altura de tierras por encima de la superficie de cimentación.	1.30 m	
$\sigma_1 (q_0)$ =	Carga externa.	19.38 KN/m ²	0.019 Mpa
a =		20	
b =		8	
m =	$m_0 \cdot \exp((RMR - 100) / a)$		2.6066
s =	$\exp((RMR - 100) / b)$		0.0126
β =	$(m \cdot \sigma_c) / 8$		7.2852
ζ =	$(8 \cdot s) / m^2$		0.0148
σ_{01} =	$(\sigma_1 / \beta) + \zeta$		0.0175
N_β =		5.41	
$P_h (q_h)$ =	$\beta \cdot (N_\beta - \zeta)$ Carga de hundimiento.		39.316 Mpa
F_p =	Coefficiente de seguridad parcial de los parámetros.	20	
F_m =	coeficiente de seguridad parcial del modelo.	1.55	
F =	$F_p \cdot F_m$		31
$\sigma_{adh} (q_{adm})$ =		1.2683 Mpa	12.683 kp/cm ²
E =	Módulo de deformación.	30.00 Gpa	300000 kp/cm ²
E_{min} =		12.00 Gpa	120000 kp/cm ²
E_{max} =		48.00 Gpa	480000 kp/cm ²

Fuente: Elaboración propia

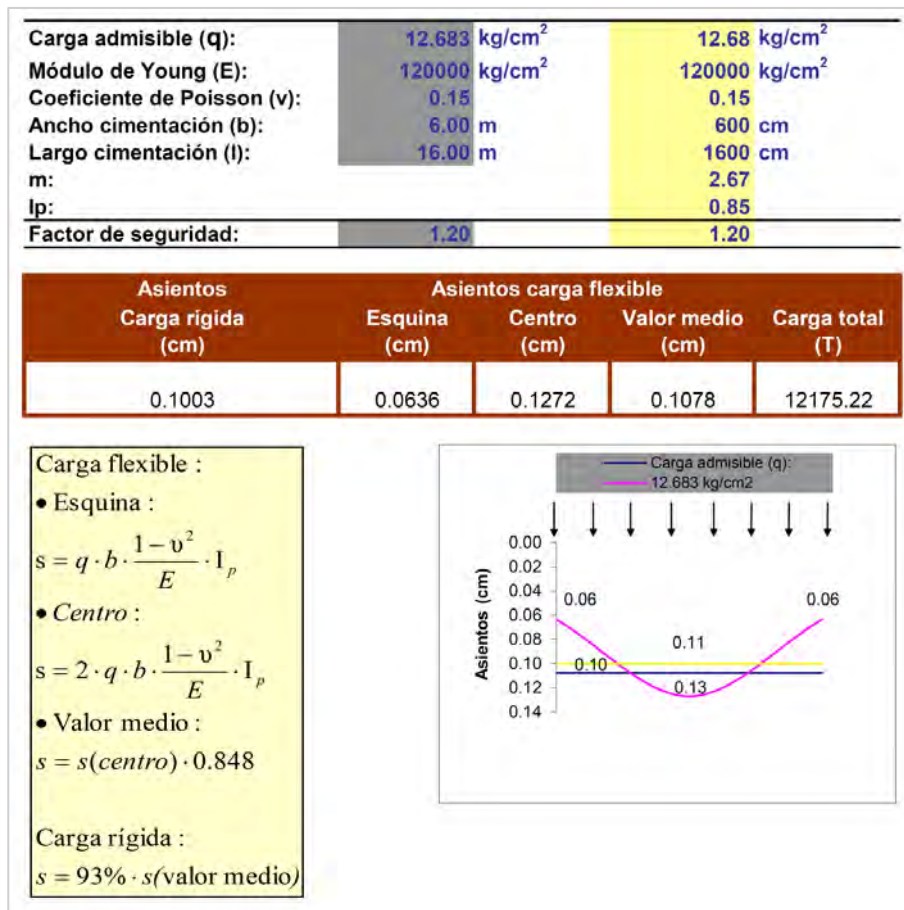
Se tiene un valor de **12.683 kg/cm²**, la roca se presenta masiva y saturada, con fracturamiento moderado, altamente porosa. se recomienda inyecciones de consolidación e impermeabilización en la zona de estribo izquierdo.

Cálculo de asientos por el Método Schleicher (1962)

De acuerdo con los datos para el cálculo de asientos generales por el método de Schleicher (1962), se tiene un ancho de cimentación de 6m, longitud de 16 m, factor de seguridad de 1.20, y factor de carga admisible de 12.683 kg/cm².

Figura 58

Cálculo de asientos método Schleicher (1962), método general



Fuente: Elaboración propia

Se tiene para asientos de carga rígida un valor de **0.1003 cm**, y para asientos de carga flexible de **12175.22 (mm)**.

Estos valores son referenciales, para uso de diseño de la presa, esta propenso a modificaciones por parte del especialista en diseño de presa y a modificaciones de diseño.

C. Análisis Geotécnico de las propiedades químicas

La prueba de solidez mediante sulfato de sodio o sulfato de magnesio es un método por el cual es posible estimar cualitativamente la durabilidad de roca bajo condiciones de intemperie.

Este método de ensayo se ha utilizado para evaluar diferentes tipos de rocas. Se debe tener en cuenta que en ocasiones en que los resultados han aportado datos que no están de acuerdo con la durabilidad de la roca en condiciones reales de campo, muestras que producen una pérdida de solides baja, se han desintegrado en el uso real, y por lo contrario muestras que producen una pérdida de solidez alta, no se han desintegrado o se han desintegrado en un menor porcentaje en el uso real.

Se obtuvo una pérdida de **49.8%**, debido a la alta porosidad de que presenta la roca toba, sin embargo, se debe considerar que la composición de las cenizas volcánicas generalmente favorece a la conservación de la roca.

De acuerdo con el MANUAL DE ESPECIFICACIONES TÉCNICAS MTC - CAPITULO 6: OBRAS DE ARTE Y DRENAJE, Sección 610: Concreto la norma menciona que *"El agregado fino no podrá presentar pérdidas superiores a diez por ciento"*

(10%) o quince por ciento (15%), al ser sometido a la prueba de solidez en sulfatos de sodio o magnesio respectivamente".

En caso de no cumplirse esta condición, el agregado podrá aceptarse siempre que; "habiendo sido empleado para preparar concretos de características similares, expuestos a condiciones ambientales parecidas durante largo tiempo, haya dado pruebas de comportamiento satisfactorio."

Teniendo esta consideración, la roca no cumple con las especificaciones de la norma, ya que presenta un exceso de pérdida de solidez, se deberá tener en cuenta esta apreciación.

Presentamos la figura N°63 donde se presenta los factores externos e internos que alteran a la roca.

Figura 59

Factores que aceleran y mitigan en ataque químico al concreto y roca

Factores que aceleran o agravan el ataque	Factores que mitigan o demoran el ataque
1. Elevada porosidad debida a: <ul style="list-style-type: none"> i. Elevada absorción de agua ii. Permeabilidad iii. Vacíos 	1. Hormigón denso obtenido mediante: <ul style="list-style-type: none"> i. Correcta dosificación de la mezcla * ii. Contenido unitario de agua reducido iii. Mayor contenido de material cementicio iv. Incorporación de aire v. Compactación adecuada vi. Curado efectivo †
2. Fisuras y separaciones debidas a: <ul style="list-style-type: none"> i. Concentración de tensiones ii. Choque térmico 	2. Tensiones de tracción reducidas en el hormigón atribuibles a: ‡ <ul style="list-style-type: none"> i. Uso de armadura de tracción de tamaño adecuado y correctamente ubicada ii. Inclusión de puzolana (para reducir el aumento de temperatura) iii. Colocación de materiales adecuados en las juntas de contracción
3. Lixiviación y penetración de líquidos debido a: <ul style="list-style-type: none"> i. Flujo de líquidos § ii. Formación de charcos iii. Presión hidráulica 	3. Diseño estructural: <ul style="list-style-type: none"> i. Minimizar las áreas de contacto y turbulencia ii. Proveer membranas y sistemas con barreras protectoras ¶ para reducir la penetración

Fuente: Guía para la durabilidad del hormigón, Comité ACI 201, Robert C. O'Neill, Russell

L. Hill, pág. 12 tabla 2.2, Argentina

D. Análisis Geotécnico de las propiedades mecánicas

Abrasión de Los Ángeles

Este Modo Operativo es una medida de la degradación de agregados minerales de gradaciones normalizadas resultantes de una combinación de acciones, las cuales incluyen abrasión o desgaste, impacto y trituración, en un tambor de acero en rotación que contiene un número especificado de esferas de acero, dependiendo de la gradación de la muestra de ensayo. Al rotar el tambor, la muestra y las bolas de acero son recogidas por una pestaña de acero transportándolas hasta que son arrojadas al lado opuesto del tambor, creando un efecto de trituración por impacto. Este ciclo es repetido mientras el tambor gira con su contenido. Luego de un número de revoluciones establecido, el

agregado es retirado del tambor y tamizado para medir su degradación como porcentaje de pérdida.

De acuerdo con el MANUAL DE ESPECIFICACIONES TÉCNICAS MTC - CAPITULO 6: OBRAS DE ARTE Y DRENAJE, Sección 610: menciona, "*El desgaste del agregado grueso en la máquina de Los Ángeles (norma de ensayo MTC E 207) no podrá ser mayor de cuarenta por ciento (40%)*",

Teniendo esta consideración, se obtuvo un porcentaje de pérdida de **39.3%**, por lo que se encuentra dentro del rango de especificaciones.

9.4.3. Clasificación Geomecánica de Bienawski

Se ha obtenido las características geomecánicas de los materiales constituyentes del Estribo izquierdo aplicando el sistema de Clasificación Geomecánica de Bienawski obteniendo los siguientes resultados:

Tabla 72

Clasificación Geomecánica DHPH-01

CODIGO SONDAJE	DESDE	HASTA	INCLINACIÓN	DIAMETRO DE PERFORACIÓN	N° CAJA	LONGITUD PERFORADA (m)	LONGITUD RECUPERADA (m)	RECUPERACION (%)	RQD (%)	RMR	CLASIFICACION DEL MACIZO
DHPH - 01	0.00	1.00	-90	HQ	01	1.00	1.00	100%	0%	0	SIN CLASIFICACIÓN GEOMECÁNICA
	1.00	2.20	-90	HQ	01	1.20	1.00	83%	0%	0	
	2.20	3.30	-90	HQ	01	1.10	0.80	73%	0%	0	
	3.30	4.50	-90	HQ	02	1.20	1.20	100%	58%	57	III REGULAR
	4.50	5.90	-90	HQ	02	1.40	1.40	100%	80%	70	II BUENA
	5.90	7.40	-90	HQ	02	1.50	0.70	47%	64%	45	III REGULAR
	7.40	8.10	-90	HQ	03	0.70	0.40	57%	75%	55	II BUENA
	8.10	9.70	-90	HQ	03	1.60	1.60	100%	97%	78	II BUENA
	9.70	11.30	-90	HQ	03	1.60	1.60	100%	84%	49	III REGULAR
	11.30	12.90	-90	HQ	04	1.60	1.60	100%	91%	63	II BUENA
	12.90	14.50	-90	HQ	04	1.60	1.60	100%	88%	62	II BUENA
	14.50	16.10	-90	HQ	05	1.60	1.60	100%	91%	59	III REGULAR
	16.10	17.70	-90	HQ	05	1.60	1.60	100%	94%	75	II BUENA
	17.70	19.30	-90	HQ	06	1.60	1.30	81%	100%	80	II BUENA
	19.30	20.90	-90	HQ	06	1.60	1.60	100%	84%	49	III REGULAR
	20.90	22.50	-90	HQ	07	1.60	1.60	100%	100%	80	II BUENA
	22.50	24.00	-90	HQ	07	1.50	1.50	100%	97%	57	III REGULAR
	24.00	25.60	-90	HQ	08	1.60	1.60	100%	100%	80	II BUENA
	25.60	27.00	-90	HQ	08	1.40	1.40	100%	100%	71	II BUENA
	27.00	28.60	-90	HQ	09	1.60	1.60	100%	94%	55	III REGULAR
	28.60	29.10	-90	HQ	09	0.50	0.50	100%	70%	51	III REGULAR
	29.10	30.60	-90	HQ	10	1.50	1.50	100%	67%	80	II BUENA
	30.60	32.20	-90	HQ	10	1.60	1.60	100%	100%	58	III REGULAR
	32.20	33.80	-90	HQ	11	1.60	1.60	100%	100%	80	II BUENA
	33.80	35.40	-90	HQ	11	1.60	1.60	100%	100%	80	II BUENA
	35.40	37.00	-90	HQ	12	1.60	1.60	100%	97%	78	II BUENA
	37.00	38.20	-90	HQ	13	1.20	1.20	100%	100%	78	II BUENA
	38.20	39.60	-90	HQ	13	1.40	1.40	100%	100%	80	II BUENA
	39.60	41.20	-90	HQ	14	1.60	1.60	100%	88%	54	III REGULAR
	41.20	42.70	-90	HQ	14	1.50	1.50	100%	93%	54	III REGULAR
42.70	44.30	-90	HQ	14	1.60	1.60	100%	75%	54	III REGULAR	
44.30	45.20	-90	HQ	15	0.90	0.90	100%	100%	54	III REGULAR	

Fuente: Elaboración propia

Conforme se puede observar en los resultados de la perforación diamantina ubicados en este estribo, los valores del RMR corresponden a una clasificación del macizo rocoso del tipo II y III, es decir de clase buena a regular.

Análisis cinemático de talud

En el estribo izquierdo se realizaron estudios de geomecánica superficial, tomando datos de las estructuras que forman las discontinuidades, esto nos permitirá

conocer las características de la roca en superficie, en tal sentido podremos obtener indirectamente información de la roca del subsuelo.

La metodología utilizada para el levantamiento de datos estructurales fue el método por ventanas, que requiere realizar un análisis visual de la superficie a ser caracterizada y toma de datos. Para el análisis cinemático de taludes se tomaron principalmente los datos con brújula azimutal, el buzamiento y la dirección de buzamiento, a continuación, presentamos los datos obtenidos por cada estribo y afloramiento en margen derecho del cauce del río.

Tabla 73

Datos estructurales de las discontinuidades en el estribo izquierdo

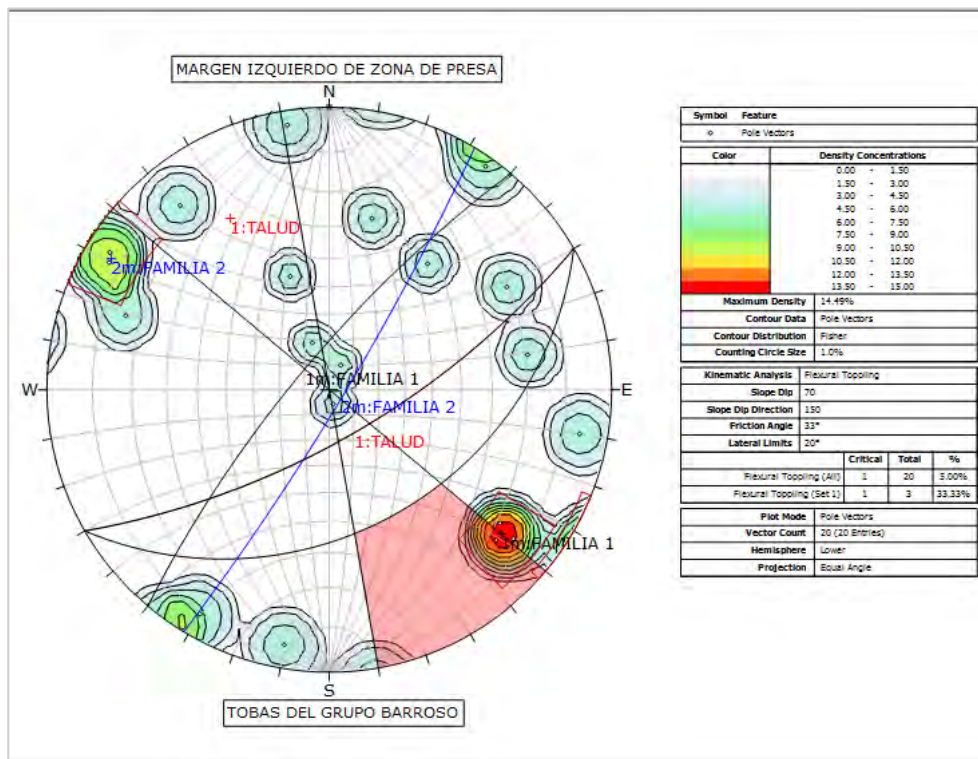
MARGEN IZQUIERDO	
DIP	DIP DIR
46	161
75	110
72	240
11	205
85	10
6	345
20	160
88	215
85	30
59	218
77	312
80	309
75	308
87	171
71	260
80	141
84	280
64	194
84	120
85	122

Fuente: Elaboración propia

Para realizar el análisis cinemático de talud se utilizó el software Dips 6.0 del paquete Rocsciense, para los datos ingresados de dip/dip dir, y un talud natural de 150° de azimut, 70° de inclinación y ángulo de fricción promedio de 33°, se tiene una tendencia de caída de deslizamiento mínimo de vuelco flexural en un 20%, ya que las intersecciones de los planos en las falsillas es mínima, representa 02 planos que caen dentro de la zona critica, en general el talud se muestra estable sin peligro de caída de rocas, se presenta el grafico a continuación:

Figura 60

Proyección estereográfica del análisis cinemático del estribo izquierdo



Fuente: Elaboración propia

9.4.4. Evaluación Geofísica

En el estribo izquierdo se han realizado 02 ensayos geofísicos (RS-01, MASW-01) cuya ubicación se puede apreciar en el plano de ubicación de ensayos geofísicos.

Como se puede observar en el cuadro correspondientes a este Ítem, los valores de los espesores van desde 1.5 a 4.7 metros de materiales sueltos, seguido de una potencia masiva de roca blanda que a profundidad se presenta como roca dura.

Tabla 74

Ensayos geofísicos realizados en el estribo izquierdo

Ensayo Geofísico	Longitud (m)	Unidad de medida Vp promedio (m/s)	Espesor (m)	Litología	Ubicación
RS – 01	120	575	1.4 – 4.7	Depósitos aluviales no muy bien consolidados	Perpendicular al eje, zona de estribo izquierdo
		2650	2.5 – 5.9	Roca blanda	
		3550	-	Rocas ligeramente alteradas	
MASW – 01	Puntual	380	5.2	Suelos densos	Punto medio RS-01
		955	-	Roca muy dura	

Fuente: Elaboración propia

9.4.5. Evaluación de la Permeabilidad

Durante el proceso de perforación diamantina se han realizado ensayos de permeabilidad principalmente tipo Lugeon a presión en toda la longitud de la perforación cuyos resultados se muestran a continuación:

Tabla 75

Permeabilidad del sondaje BPHH-01 (estribo izquierdo)

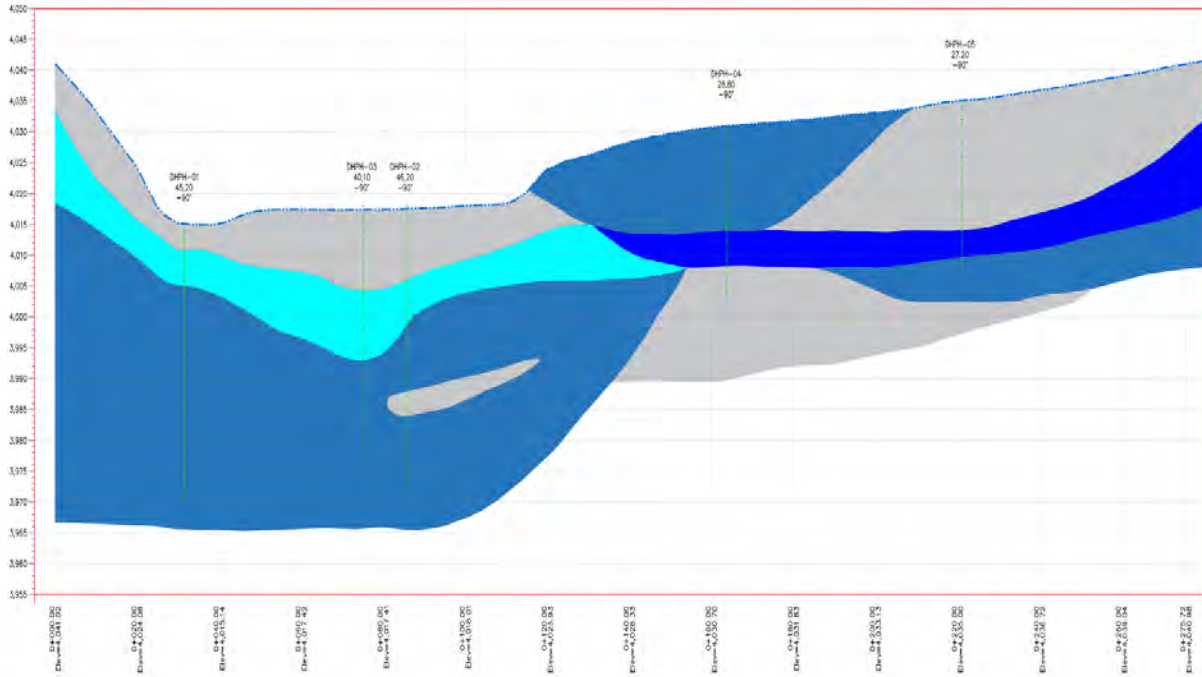
Item	Sondaje	Norte	Este	Cota	Profundidad	Lugeon		Zonificación Unidades Lugeon		Zonificación Permeabilidad	
						Tramo ensayado		U Lugeon	Zona	Permeabilidad	Clasificación del valor de Lugeon representativo
1	DHPH - 01	8349595	235958	4019	45.2	7.10	8.10	95.2	Z I	2.29E-03 cm/s	Muy Desfavorable
2						11.50	12.50	8	Z III	1.97E-05 cm/s	Muy Desfavorable
3						16.70	17.70	4.1	Z I	9.87E-05 cm/s	Desfavorable
4						23.00	24.00	1.7	Z III	4.09E-05 cm/s	Favorable
5						28.10	29.10	17.3	Z I	4.16E-04 cm/s	Muy Desfavorable
6						32.80	33.80	1	Z II	2.52E-05 cm/s	Favorable
7						37.20	38.20	4.8	Z I	1.16E-04 cm/s	Desfavorable
8						44.20	45.20	33	Z I	7.94E-04 cm/s	Muy Desfavorable

Fuente: Elaboración propia

Conforme se han realizado los ensayos de permeabilidad del sondaje DHPH-01 se tiene; los valores obtenidos de permeabilidad son desde E-04, E-05, conformado por roca masiva con fracturamiento moderado, en algunos sectores se presenta compacto sin fracturamiento, en general se clasifica entre favorable a muy favorable, excepto en algunos sectores al inicio que se presenta un tanto desfavorable, se propone mejorar la zona critica.

Figura 61

Sección de permeabilidad del estribo izquierdo



Fuente: Elaboración propia

9.5. EVALUACION GEOTECNICA DEL ESTRIBO DERECHO

Para la evaluación de este estribo se han realizado 02 perforaciones diamantinas (DHPH-04, DHPH-05), así mismos estudios geofísicos.

Para una mejor evaluación de las características geotécnicas de los materiales constituyentes del Estribo Derecho, se han considerado cinco aspectos fundamentales que son:

- Evaluación de los Perfiles Estratigráficos
- Características físico-mecánicas.
- Clasificación Geomecánica de Bienawsky
- Evaluación Geofísica
- Evaluación de la Permeabilidad

9.5.1. Evaluación de los Perfiles Estratigráficos

En el Estribo Derecho se han realizado las perforaciones diamantinas (DHPH-04, DHPH-05) con profundidades total de 28.80m y 27.20m respectivamente, en el cual se ha encontrado materiales con la siguiente descripción estratigráfica:

El sondaje DHPH-04 está conformado por suelos (arenas limosas y gravas) con una potencia de 1.60m pertenecientes a depósitos Morrénicos, así misma roca ígnea volcánica "Toba" del tipo soldada (ignimbrita) perteneciente al Grupo Barroso (Formación Pampa Garzas), con fracturamiento moderado a fuerte, se muestra masivo hasta los 15m, húmedo a saturado, porosidad alta, se evidencia microcristales de cuarzo, plagioclasa y micas. Se ha encontrado oquedades que por supuesto reduce la calidad de la roca. El nivel freático se presenta a 19 m.

En el sondaje DHPH-05, ubicado a 50 metros del sondaje DHPH-04, en dirección al eje más pegado al estribo derecho, se muestra de forma diferente, presentando materiales sueltos (Bolonería, gravas limosas y arena) hasta los 19 metros, seguido de roca masiva y de la misma formación rocosa, con fracturamiento moderado a fuerte y menor alteración que el sondaje DHPH-04. Se puede observar que el nivel freático también se presenta a los 19m.

9.5.2. Características físico-mecánicas

Las características físicas-mecánicas del material rocoso de tipo ignimbrita con nivel de fracturamiento moderado que constituye el estribo izquierdo son:

Tabla 76

Codificación de muestras representativas en el estribo derecho

Sondaje	Código de muestra	Profundidad		Litología	Ubicación
		Desde	Hasta		
DHPH-04	MNDH4-01	24.10	24.28	Toba (Ignimbrita)	Estribo Derecho
	MNDH4-02	36.60	36.77		
	TXDH4-01	21.78	22.07		
DHPH-05	MNDH5-01	25.60	25.42		
	TXDH5-01	22.87	23.43		

Fuente: Elaboración propia

Se realizaron pruebas en laboratorio certificado, de muestras en superficie y de los testigos de perforación, los cuales nombramos a continuación:

- Abrasión Los Ángeles
- Resistencia a la compresión simple
- Propiedades físicas de la roca
- Ensayo triaxial en roca.
- Ensayo de durabilidad al sulfato de sodio y sulfato de magnesio

A continuación, presentamos un cuadro resumen de los resultados obtenidos de las pruebas de laboratorio realizadas:

Tabla 77

Propiedades físico-químicas de la roca de los sondajes DHPH-04 y DHPH-05

Sondaje	Código de muestra	Profundidad		Litología	Ubicación	Cohesión (Mpa)	Angulo de fricción (°)	Resistencia a la compresión simple	Densidad (g/cm ³)	Peso específico (g/cm ³)	Porosidad aparente (%)	Peso específico aparente (kN/m ³)	Absorción (%)
		Desde	Hasta										
DHPH - 04	MNDH4-01	24.10	24.78	Toba (Ignimbrita)	Estribo Derecho	-	-	426	1.809	2.42	25.27	17.74	13.97
	MNDH4-02	36.60	36.77			-	-	159	1.517	2.18	30.7	14.87	20.24
	TXDH4-01	21.78	22.07			34.08	6.37	-	-	-	-	-	-

Fuente: Elaboración propia

Tabla 78

Propiedades físico-químicas de la roca superficial del estribo derecho

Código de muestra	Litología	Ubicación	Resistencia a la compresión simple (kg/cm ²)	Peso específico (g/cm ³)	Densidad (g/cm ³)	Absorción (%)	Porosidad aparente (%)	Peso específico aparente (kN/m ³)	Abrasión de los Angeles (% pérdida)	Durabilidad sulfato de sodio y magnesio (%)
MREI - 01	Toba (Ignimbrita)	Estribo Derecho	-	-	-	-	-	-	45.6	97

Fuente: Elaboración propia

A. Análisis de las propiedades resistentes del estribo derecho

Dentro de las propiedades resistentes; para el sondaje DPHH-04 se obtuvo un valor de resistencia a la compresión simple de 269 kg/cm² a una profundidad de 24.10m, y 159.4 kg/cm² a una profundidad de 36.60m.

Para el sondaje DPHH-05 se obtuvo un valor de resistencia a la compresión simple de 205 kg/cm² a una profundidad de 22.87m.

Los valores corresponden al sistema UCS (Mpa), dando valores para el sondaje DPHH-04: de **41.77 Mpa**, y **15.59 Mpa**, mientras que para el sondaje DPHH-05 un valor de **20.36 Mpa**.

Teniendo esta consideración a la tabla 79; el sondaje DPHH-04 presenta una condición de resistencia “media” y “muy débil”, en tanto para el sondaje DPHH-05 una condición “débil”.

Tabla 79

Clasificación de las rocas a partir de su resistencia a compresión simple

Resistencia Mpa	Condición	Descripción
5 a 20	Muy débil	Sedimentarias alteradas y debidamente compactadas.
20 a 40	Débil	Sedimentarias debidamente cementados.
40 a 80	Resistencia media	Sedimentarias competentes y rocas ígneas cuarzosas de densidad un poco baja.
80 a 160	Resistencia alta	Areniscas de grano fino.
160 a 320	Resistencia muy alta	Cuarcitas, rocas ígneas densas de grano fino.

Fuente: Manual de diseño de obras civiles, B.3,4 México, Comisión Federal de Electricidad, 1979

A continuación, se presenta la clasificación de acuerdo a su resistencia a compresión por distintos autores que clasifican la roca en función al rango de valores.

Tabla 80

Clasificación de las rocas por distintos autores en función a rango de valores

Resistencia a la compresión (Mpa)	ISMR (1981)	Geological Society of London (1970)	Bieniawski (1973)	Ejemplos
< 1	Suelos			
1 a 5	Muy blanda	Blanda >1.25	Muy baja	Sal, lutitas, limolita, marga, toba, carbón
5 a 12.5	Blanda	Moderadamente blanda		
12.5 a 25	Moderadamente dura	Moderadamente dura	Baja	Esquisto, pizarra
25 a 50				
50 a 100	Dura	Dura	Media	Rocas metamórficas, esquistos, mármol, granito, gneiss, arenisca, caliza porosa
100 a 200	Muy dura	Muy dura	Alta	Rocas ígneas y metamórficas, areniscas muy cementadas, caliza dolomía
> 200		Extremadamente dura	Muy alta	Cuarcita, gabro, basalto
> 250				

Fuente: Ingeniería Geológica, Gonzales de vallejo, Cuadro 3.10, pág. 133, España

De acuerdo a la tabla 80, para el sondaje BHPH-04 se puede clasificar: Según la ISMR (1981) en "moderadamente dura" a "blanda", según la Geological Society of London (1970) en "moderadamente dura", y según Bieniawski (1973) en "baja" a "muy baja".

Para el sondaje BHPH-05 según la ISMR (1981) en "blanda", según la Geological Society of London (1970) en "moderadamente dura" y según Bieniawski (1973) en "baja".

B. Cálculo de la capacidad admisible

Método de Serrano y Olalla

Para calcular la Tensión Admisible del terreno en estos materiales se ha utilizado el método desarrollado por Serrano y Olalla (2001) cuya formulación integra parámetros geomecánicos establecidos por los autores Hoek y Brown (1977) en función de las características del macizo rocoso (naturaleza de la roca, resistencia a compresión, carga puntual sobre muestras de roca, índice RQD., espaciado y estado de las discontinuidades, filtraciones y presencia de agua, etc.). El coeficiente de seguridad a introducir (F) tiene en cuenta las variaciones estadísticas de los parámetros de la roca y la probabilidad de rotura del cimientto (F_p), además considera las incertidumbres relacionadas con el criterio de rotura del macizo rocoso (F_m). El cálculo se desarrolla mediante las siguientes ecuaciones:

$$P_h = \beta \cdot (N_\beta - \xi)$$

$$P_{adm} = \frac{P_h}{F}$$

$$F = F_p \cdot F_m$$

Donde:

P_H = Carga de hundimiento (MPa)

P_{adm} = Carga admisible (MPa)

F = Coeficiente de seguridad global (adimensional)

F_p y F_m = Coeficientes de seguridad parciales (adimensional)

N_β = Coeficiente de carga de hundimiento. Obtenido a partir de los ábacos de Serrano y Olalla, 1998.

β y ξ = Parámetros que definen el comportamiento de la matriz rocosa.

$$\beta = \frac{m_0 \cdot \sigma_c}{8} \cdot e^{\left(\frac{RMR-100}{a}\right)} \text{ (MPa)}$$

$$\xi = \frac{8}{m_0^2} \cdot e^{\left(\frac{RMR-100}{a} / (a-2 \cdot b)\right)} \text{ (adimensional)}$$

m_0 = Constante característica de la matriz rocosa (adimensional).

σ_c = Resistencia a la compresión simple de la matriz rocosa (MPa)

RMR = Índice Rock Mass Ratio, Bieniawski, 1986

a = Parámetro adimensional. Para rocas no alteradas por voladuras toma el valor de 28 y para rocas afectadas por voladuras toma el valor de 14.

b = Parámetro adimensional. Para rocas no alteradas por voladuras toma el valor de 9 y para rocas afectadas por voladuras toma el valor de 6.

En el sondaje DPH-04 se clasificó en dos zonas de acuerdo a su resistencia y clasificación RMR, el primero desde los 1.60m. hasta los 24.00m., y la siguiente desde los 24.00m hasta los 28.80m. Mientras que en el sondaje DPH-05 desde los 19.10m hasta los 27.20m. A continuación, se presenta los cálculos:

Figura 62

Carga admisible de cimentaciones en roca del sondaje DPH-04, desde 1.60 hasta 24.0m

Carga admisible de cimentaciones en roca basada en un criterio de rotura no lineal			
(para una inclinación de la carga aplicada de 0°)			
$\sigma_c (q_u) =$	Resistencia a la compresión simple de la roca.	426.00 kg/cm ²	41.776 Mpa
RMR =	Clasificación geomecánica de la roca según Bieniawski.	77 %	77 %
$m_0 =$	Parámetro m para rocas intactas.	15	15
$i_1 =$	Inclinación de la carga sobre la cimentación.	0 °	0 °
$\gamma =$	Peso específico.	2.42 gr/cm ³	23.73 KN/m ³
H (D) =	Altura de tierras por encima de la superficie de cimentación.	1.60 m	
$\sigma_1 (q_0) =$	Carga externa.	37.97 KN/m ²	0.038 Mpa
a =		20	
b =		8	
m =	$m_0 \cdot \exp ((RMR - 100) / a)$		4.7496
s =	$\exp ((RMR - 100) / b)$		0.0564
$\beta =$	$(m \cdot \sigma_c) / 8$		24.8024
$\zeta =$	$(8 \cdot s) / m^2$		0.0200
$\sigma_{01} =$	$(\sigma_1 / \beta) + \zeta$		0.0215
$N_\beta =$		5.61	
$P_h (q_h) =$	$\beta \cdot (N_\beta - \zeta)$ Carga de hundimiento.		138.645 Mpa
$F_p =$	Coefficiente de seguridad parcial de los parámetros.	30	
$F_m =$	coeficiente de seguridad parcial del modelo.	1.55	
$F =$	$F_p \cdot F_m$		46.5
$\sigma_{adh} (q_{adm}) =$		2.9816 Mpa	29.816 kp/cm ²
E =	Módulo de deformación.	54.00 Gpa	540000 kp/cm ²
$E_{min} =$		21.60 Gpa	216000 kp/cm ²
$E_{max} =$		86.40 Gpa	864000 kp/cm ²

Fuente: Elaboración propia

Figura 63

Carga admisible de cimentaciones en roca del sondaje DPHH-04, desde 24.0m hasta 28.80m

Carga admisible de cimentaciones en roca basada en un criterio de rotura no lineal			
<small>(para una inclinación de la carga aplicada de 0°)</small>			
$\sigma_c (q_u) =$	Resistencia a la compresión simple de la roca.	159.00 kg/cm ²	15.593 Mpa
RMR =	Clasificación geomecánica de la roca según Bieniawski.	55 %	55 %
$m_0 =$	Parámetro m para rocas intactas.	15	15
$i_1 =$	Inclinación de la carga sobre la cimentación.	0 °	0 °
$\gamma =$	Peso específico.	2.18 gr/cm ³	21.38 KN/m ³
H (D) =	Altura de tierras por encima de la superficie de cimentación.	0.50 m	
$\sigma_1 (q_0) =$	Carga externa.	10.69 KN/m ²	0.011 Mpa
a =		20	
b =		8	
m =	$m_0 \cdot \exp ((RMR - 100 / a))$		1.5810
s =	$\exp ((RMR - 100 / b))$		0.0036
$\beta =$	$(m \cdot \sigma_c) / 8$		3.0815
$\zeta =$	$(8 \cdot s) / m^2$		0.0115
$\sigma_{01} =$	$(\sigma_1 / \beta) + \zeta$		0.0150
$N_b =$		5.28	
$P_h (q_h) =$	$\beta \cdot (N_b - \zeta)$ Carga de hundimiento.		16.221 Mpa
$F_p =$	Coficiente de seguridad parcial de los parámetros.	20	
$F_m =$	Coficiente de seguridad parcial del modelo.	1.55	
F =	$F_p \cdot F_m$		31
$\sigma_{adh} (Q_{adm}) =$		0.5233 Mpa	5.233 kp/cm ²
E =	Módulo de deformación.	10.00 Gpa	100000 kp/cm ²
$E_{min} =$		4.00 Gpa	40000 kp/cm ²
$E_{max} =$		16.00 Gpa	160000 kp/cm ²

Fuente: Elaboración propia

Para el sondaje DPHH-04, desde 1.60m hasta 24.00m, se tiene una carga admisible de **29.816 kg/cm²**, y desde los 24.00m hasta los 28.80m; **5.233 kg/cm²**, donde la roca se presenta masiva y compacta, con fracturamiento fuerte, seguido de una zona de mayor alteración.

Figura 64

Carga admisible de cimentaciones en roca del sondaje DPHH-05, desde 19.10m hasta 29.70m.

$\sigma_c (q_u) =$	Resistencia a la compresión simple de la roca.	205.00 kg/cm ²	20.104 Mpa
RMR =	Clasificación geomecánica de la roca según Bieniawski.	77 %	77 %
$m_0 =$	Parámetro m para rocas intactas.	15	15
$i_1 =$	Inclinación de la carga sobre la cimentación.	0 °	0 °
$\gamma =$	Peso específico.	2.27 gr/cm ³	22.24 KN/m ³
H (D) =	Altura de tierras por encima de la superficie de cimentación.	19.10 m	
$\sigma_1 (q_0) =$	Carga externa.	424.81 KN/m ²	0.425 Mpa
a =		25	
b =		8	
m =	$m_0 \cdot \exp ((RMR - 100 / a)$		5.9778
s =	$\exp ((RMR - 100 / b)$		0.0564
$\beta =$	$(m \cdot \sigma_c) / 8$		15.0219
$\zeta =$	$(8 \cdot s) / m^2$		0.0126
$\sigma_{01} =$	$(\sigma_1 / \beta) + \zeta$		0.0409
$N_\beta =$		6.23	
$P_h (q_h) =$	$\beta \cdot (N_\beta - \zeta)$ Carga de hundimiento.		93.397 Mpa
$F_p =$	Coficiente de seguridad parcial de los parámetros.	20	
$F_m =$	coeficiente de seguridad parcial del modelo.	1.55	
F =	$F_p \cdot F_m$		31
$\sigma_{adh} (q_{adm}) =$		3.0128 Mpa	30.128 kp/cm ²
E =	Módulo de deformación.	54.00 Gpa	540000 kp/cm ²
$E_{min} =$		21.60 Gpa	216000 kp/cm ²
$E_{max} =$		86.40 Gpa	864000 kp/cm ²

Fuente: Elaboración propia

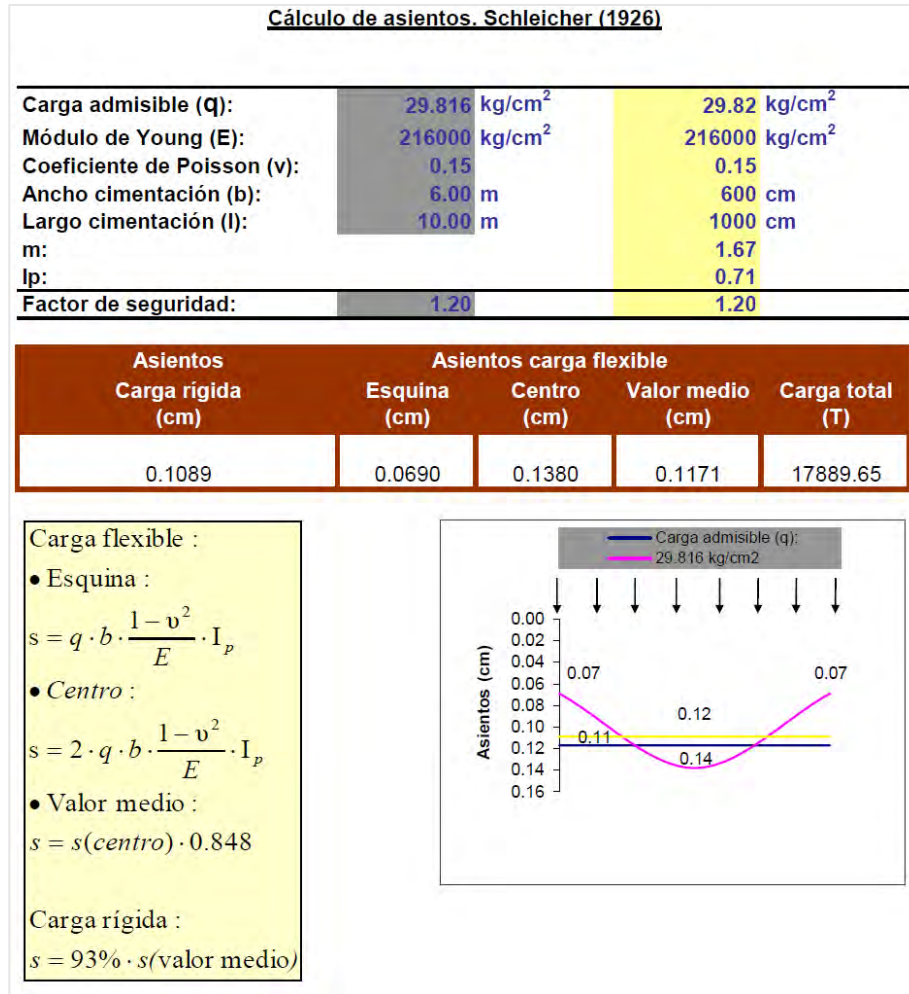
Para el sondaje DPHH-05, desde 19.10m hasta 27.20m, se tiene una carga admisible de **30.128 kg/cm²**, donde la roca se presenta masiva y compacta.

Cálculo de asientos por el Método Schleicher (1962)

De acuerdo con los datos para el cálculo de asientos generales por el método de Schleicher (1962), para el sondaje DPHH-04 desde los 1.60m hasta los 24.0 m se tiene un ancho de cimentación de 6m, longitud de 10 m, factor de seguridad de 1.20, y factor de carga admisible de 29.816 kg/cm².

Figura 65

Cálculo de asientos método Schleicher (1962), sondaje DHPH-04 desde 1.60m hasta 24.0m

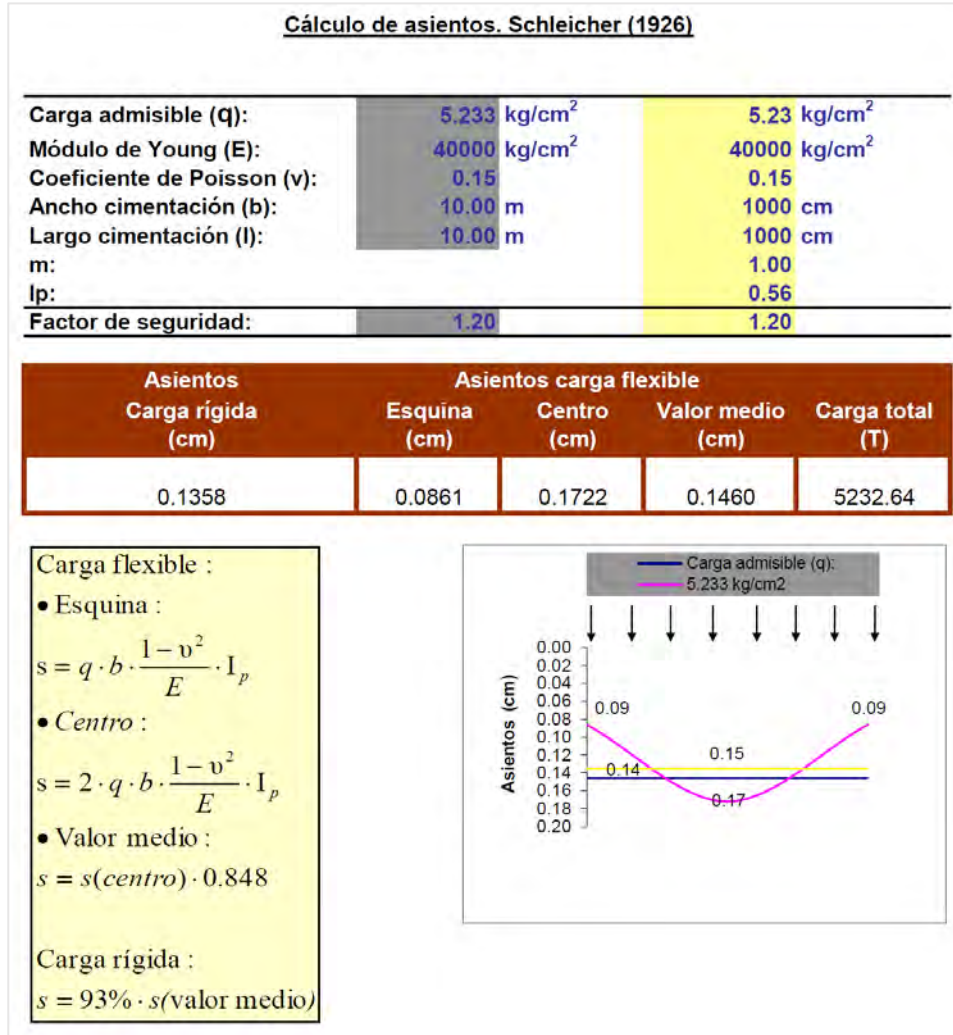


Fuente: Elaboración propia

Se tiene para asientos de carga rígida un valor de 0.1089 cm, y para asientos de carga flexible de **17889.65 (mm)**.

Figura 66

Cálculo de asientos método Schleicher (1962), sondaje DHPH-04 desde 24.0m hasta 28.8m



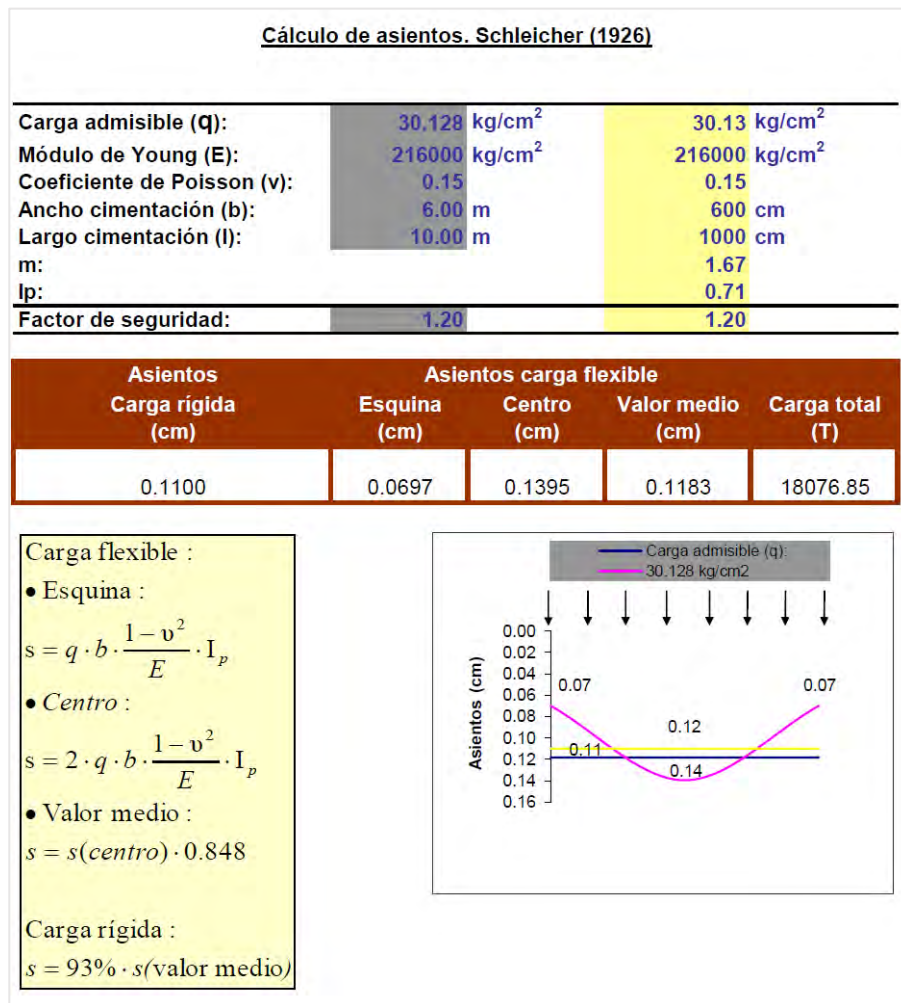
Fuente: Elaboración propia

Se tiene para asientos de carga rígida un valor de 0.1358 cm, y para asientos de carga flexible de **5232.64 (mm)**.

Para el sondaje DPH-05 desde los 19.10m hasta los 27.20 metros y teniendo un ancho de cimentación de 6m, longitud de 10m, factor de seguridad de 1.20, y un factor de carga admisible de 30.128 kg/cm².

Figura 67

Cálculo de asientos método Schleicher (1962), sondaje DPH-04 desde 24.0m hasta 28.8m



Fuente: Elaboración propia

Se tiene para asientos de carga rígida un valor de 0.1100 cm, y para asientos de carga flexible de **18076.85 (mm)**.

C. Análisis Geotécnico de las propiedades químicas

La prueba de solidez mediante sulfato de sodio o sulfato de magnesio es un método por el cual es posible estimar cualitativamente la durabilidad de roca bajo condiciones de intemperie.

Se obtuvo una pérdida de **97%**, debido a la alta alteración supergena a la que estuvo expuesta la roca, de la misma manera la porosidad contribuye y la debilita, estos factores influyen determinadamente los resultados finales, sin embargo, debemos señalar que la ubicación de la muestra MREI-01 se encuentra ubicada a 50 metros del límite del eje de la presa, donde se realizó el muestreo referencial, esta fue la única zona donde afloran las rocas de la misma formación.

De acuerdo con el MANUAL DE ESPECIFICACIONES TÉCNICAS MTC - CAPITULO 6: OBRAS DE ARTE Y DRENAJE, Sección 610: Concreto la norma menciona que "El agregado fino no podrá presentar pérdidas superiores a diez por ciento (10%) o quince por ciento (15%), al ser sometido a la prueba de solidez en sulfatos de sodio o magnesio respectivamente".

En caso de no cumplirse esta condición, el agregado podrá aceptarse siempre que; "habiendo sido empleado para preparar concretos de características similares, expuestos a condiciones ambientales parecidas durante largo tiempo, haya dado pruebas de comportamiento satisfactorio."

Teniendo esta consideración, la roca no cumple con las especificaciones de la norma, excede en alto porcentaje de perdida, por lo que se deberá tener en cuenta esta apreciación.

Abrasión Los Ángeles

De acuerdo con el MANUAL DE ESPECIFICACIONES TÉCNICAS MTC - CAPITULO 6: OBRAS DE ARTE Y DRENAJE, Sección 610: menciona, "El desgaste del agregado grueso en la máquina de Los Ángeles (norma de ensayo MTC E 207) no podrá ser mayor de cuarenta por ciento (40%)",

Teniendo esta consideración, se obtuvo un porcentaje de pérdida de **45.6%**, por lo que no cumple con las especificaciones técnicas. Sin embargo, debemos señalar que la roca que se muestreó presenta alteración supergena fuerte, esto contribuyó al alto grado de pérdida de esta prueba.

9.5.3. Clasificación geomecánica de Bienawski

Se ha obtenido las características geomecánicas de los materiales constituyentes del Estribo derecho aplicando el sistema de Clasificación Geomecánica de Bienawski, obteniendo los siguientes resultados:

Tabla 81

Clasificación Geomecánica sondaje DPHH-04 – Estribo derecho

CODIGO SONDAJE	DESDE	HASTA	INCLINACIÓN	DIAMETRO DE PERFORACIÓN	N° CAJA	LONGITUD PERFORADA (m)	LONGITUD RECUPERADA (m)	RECUPERACION (%)	RQD (%)	RMR	CLASIFICACION DEL MACIZO
DHPH - 04	0.00	0.60	-90	HQ	01	0.60	0.45	75%	0%	0	SIN CLASIFICACIÓN GEOMECÁNICA
	0.60	1.60	-90	HQ	01	1.00	1.00	100%	0%	0	
	1.60	2.10	-90	HQ	01	0.50	0.45	90%	100%	54	III REGULAR
	2.10	3.40	-90	HQ	01	1.30	1.30	100%	100%	88	I MUY BUENA
	3.40	4.90	-90	HQ	02	1.50	1.50	100%	100%	83	I MUY BUENA
	4.90	6.10	-90	HQ	02	1.20	1.20	100%	100%	83	I MUY BUENA
	6.10	7.70	-90	HQ	03	1.60	1.60	100%	100%	88	I MUY BUENA
	7.70	9.30	-90	HQ	03	1.60	1.60	100%	100%	88	I MUY BUENA
	9.30	10.80	-90	HQ	04	1.50	1.50	100%	100%	88	I MUY BUENA
	10.80	12.40	-90	HQ	04	1.60	1.60	100%	100%	88	I MUY BUENA
	12.40	14.00	-90	HQ	05	1.60	1.60	100%	100%	88	I MUY BUENA
	14.00	15.00	-90	HQ	05	1.00	1.00	100%	100%	80	II BUENA
	15.00	15.20	-90	HQ	06	0.20	0.20	100%	100%	83	I MUY BUENA
	15.20	16.80	-90	HQ	06	1.60	1.60	100%	100%	88	I MUY BUENA
	16.80	18.30	-90	HQ	06	1.50	1.50	100%	100%	80	II BUENA
	18.30	19.90	-90	HQ	07	1.60	1.60	100%	100%	80	II BUENA
	19.90	21.40	-90	HQ	07	1.50	1.50	100%	100%	69	II BUENA
	21.40	23.00	-90	HQ	08	1.60	1.60	100%	93%	67	II BUENA
	23.00	24.30	-90	HQ	08	1.30	1.30	100%	95%	64	II BUENA
	24.30	25.00	-90	HQ	09	0.70	0.70	100%	93%	69	II BUENA
25.00	25.40	-90	HQ	09	0.40	0.40	100%	30%	42	III REGULAR	
25.40	26.80	-90	HQ	09	1.40	1.40	100%	57%	45	III REGULAR	
26.80	27.90	-90	HQ	09	1.10	1.10	100%	82%	62	II BUENA	
27.90	28.80	-90	HQ	10	0.90	0.90	100%	44%	37	IV MALA	

Fuente: Elaboración propia

Conforme se puede observar en los resultados de la perforación diamantina ubicado en el estribo derecho y con respecto al sondaje DPHH-04, se puede concluir que los valores del RMR corresponden a una clasificación del macizo rocoso del tipo I y III, es decir una calidad muy buena a regular.

Tabla 82

Clasificación Geomecánica sondaje DPHH-05 – Estribo derecho

CODIGO SONDAJE	DESDE	HASTA	INCLINACIÓN	DIAMETRO DE PERFORACIÓN	N° CAJA	LONGITUD PERFORADA (m)	LONGITUD RECUPERADA (m)	RECUPERACION (%)	RQD (%)	RMR	CLASIFICACION DEL MACIZO
DHPH - 05	0.00	1.10	-90	HQ	01	1.10	0.60	55%	0%	0	SIN CLASIFICACIÓN GEOMECÁNICA
	1.10	2.10	-90	HQ	01	1.00	0.60	60%	0%	0	
	2.10	3.30	-90	HQ	01	1.20	0.80	67%	0%	0	
	3.30	4.00	-90	HQ	01	0.70	0.60	86%	0%	0	
	4.00	4.80	-90	HQ	01	0.80	0.40	50%	0%	0	
	4.80	6.00	-90	HQ	02	1.20	0.60	50%	0%	0	
	6.00	7.00	-90	HQ	02	1.00	0.90	90%	0%	0	
	7.00	7.50	-90	HQ	02	0.50	0.40	80%	0%	0	
	7.50	8.10	-90	HQ	02	0.60	0.60	100%	0%	0	
	8.10	8.60	-90	HQ	02	0.50	0.50	100%	0%	0	
	8.60	9.20	-90	HQ	03	0.60	0.20	33%	0%	0	
	9.20	10.70	-90	HQ	03	1.50	1.00	67%	0%	0	
	10.70	11.30	-90	HQ	03	0.60	0.30	50%	0%	0	
	11.30	12.20	-90	HQ	03	0.90	0.90	100%	0%	0	
	12.20	13.80	-90	HQ	04	1.60	1.60	100%	0%	0	
	13.80	15.20	-90	HQ	04	1.40	1.20	86%	0%	0	
	15.20	16.40	-90	HQ	04	1.20	0.70	58%	0%	0	
	16.40	17.50	-90	HQ	05	1.10	0.90	82%	0%	0	
	17.50	18.50	-90	HQ	05	1.00	0.90	90%	0%	0	
	18.50	19.00	-90	HQ	05	0.50	0.50	100%	0%	0	
19.00	20.20	-90	HQ	05	1.20	1.20	100%	83%	66	II BUENA	
20.20	21.60	-90	HQ	06	1.40	1.40	100%	100%	54	III REGULAR	
21.60	23.20	-90	HQ	06	1.60	1.60	100%	100%	89	I MUY BUENA	
23.20	24.00	-90	HQ	07	0.80	0.80	100%	100%	89	I MUY BUENA	
24.00	25.60	-90	HQ	07	1.60	1.60	100%	100%	89	I MUY BUENA	
25.60	27.20	-90	HQ	08	1.60	1.60	100%	100%	76	II BUENA	

Fuente: Elaboración propia

Respecto al sondaje DPHH-05, se puede concluir que en su mayor parte presenta materiales sueltos como son; (bolonería, gravas, arenas), según la clasificación SUCS le corresponde una clasificación de suelos tipo GP-GM / SW-SM. A partir de los 19 metros y en referencia a los valores del RMR, corresponden a material rocoso con clasificación de la misma del tipo I y II, es decir una calidad muy buena a buena.

Análisis Cinemático de talud - estribo derecho

Se ubica en el margen derecho de la zona de presa Huayllumayo, se realizaron 02 estaciones geomecánicas (EG-05 y EG-06) obteniéndose los datos que se presenta en la siguiente tabla.

Tabla 83

Buzamiento y dirección de buzamiento - estribo derecho

MARGEN DERECHO	
DIP	DIP DIR
84	84
224	224
82	82
270	270
84	84
243	243
16	16
66	66
47	47
295	295
46	46
4	4
71	71
351	351
79	79
64	64
87	87
159	159
41	41
328	328

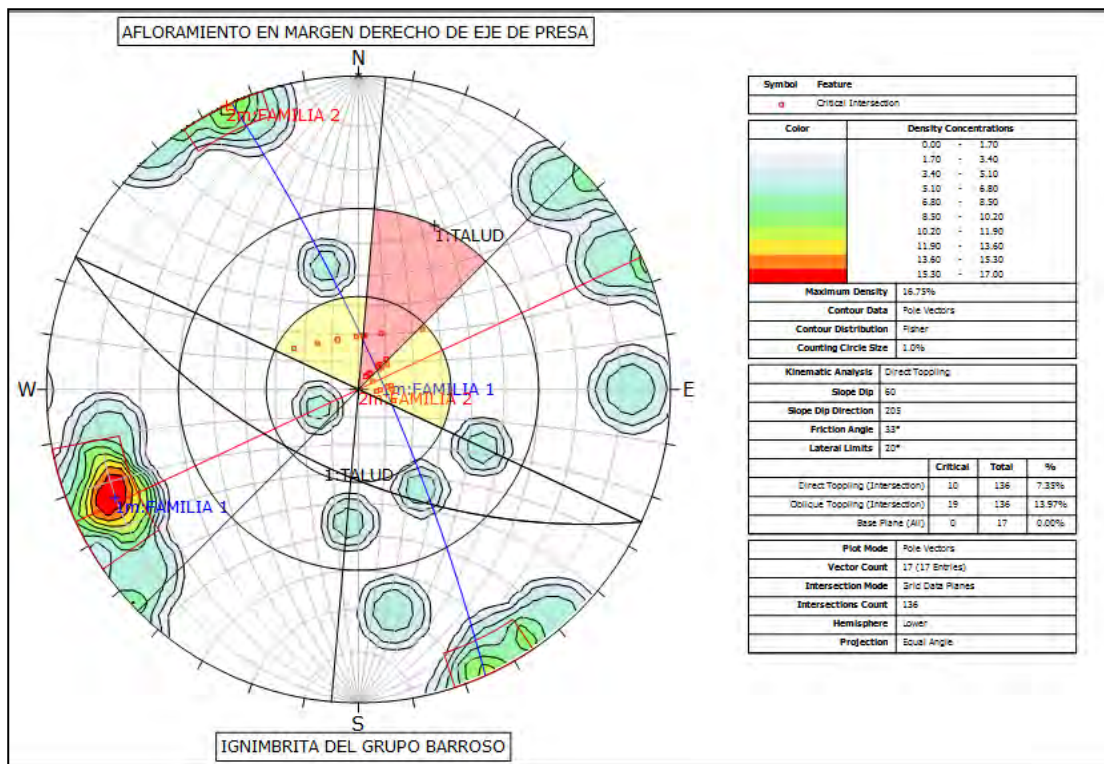
Fuente: Elaboración propia

Para realizar el análisis cinemático de talud se utilizó el software Dips 6.0 del paquete Rocsciense, para los datos ingresados de dip/dip dir, y un talud natural de 205° de azimut, 60° de inclinación y ángulo de fricción promedio de 33°, se tiene una tendencia de caída de deslizamiento mínimo de vuelco flexural en un 20%, ya que las

intersecciones de los planos en las falsillas es mínima, en general el talud se muestra estable sin peligro de caída de rocas, sin embargo se puede observar in situ que existe evidencia de caída de rocas de la escarpa que se presenta bien pronunciada, estas caídas se deben a la intemperización supergena de la zona, se presenta el grafico a continuación:

Figura 68

Proyección estereográfica del estribo derecho



Fuente: Elaboración propia

9.5.4. Evaluación Geofísica

En el estribo derecho se han realizado 02 ensayos geofísicos (RS-03, MASW-03) cuya ubicación se puede apreciar en el plano de ubicación de ensayos geofísicos.

Tabla 84

Ensayos Geofísicos realizados en el estribo derecho

Ensayo Geofísico	Longitud (m)	Unidad de medida Vp promedio (m/s)	Espesor (m)	Litología	Ubicación
RS – 03	120	750	1.5 – 6.7	Material no consolidado	Perpendicular al eje, zona de estribo derecho
		2800	14.4 – 21.9	Roca alterada	
		3750	-	Roca ligeramente alterada	
MASW – 03	Puntual	560	7.2	Suelos densos	Punto medio RS-03
		930	-	Roca levemente alterada	

Fuente: Elaboración propia

Como se puede observar en el cuadro correspondientes a este Ítem, los valores de los espesores van desde 1.5m a 6.7m de materiales sueltos lo que correspondería a las gravas limosas con arena, seguido de material rocoso alterado presente hasta los 22.0m, y a mayor profundidad roca ligeramente alterada.

9.5.5. Evaluación de la Permeabilidad

Durante el proceso de perforación diamantina se han realizado ensayos de permeabilidad principalmente tipo “Lefranc o a gravedad” y “Lugeon o a presión” en toda la longitud de la perforación cuyos resultados se muestran a continuación:

Tabla 85

Ensayo de permeabilidad tipo Lugeon del sondaje BHPH-04 - estribo derecho

Item	Sondaje	Norte	Este	Cota	Profundidad	Lugeon		Zonificación Unidades Lugeon		Zonificación Permeabilidad	
						Tramo ensayado		U Lugeon	Zona	Permeabilidad	Clasificación del valor de Lugeon representativo
1	DHPH - 04	8349485	236033	4042	28.8	4.40	6.10	1	Z II	2.82E-05 cm/s	Muy Favorable
2						9.75	10.80	3.3	Z I	8.14E-05 cm/s	Desfavorable
3						12.90	14.10	0.7	Z III	1.73E-05 cm/s	Muy Favorable
4						18.90	19.90	0.3	Z III	6.82E-06 cm/s	Muy Favorable
5						24.00	25.00	-	Z I	>286.4 l/min	Muy Desfavorable
6						27.80	28.80	-	Z I	>353.5 l/min	Muy Desfavorable

Fuente: Elaboración propia

Conforme a los resultados obtenidos para el estribo derecho en el sondaje DHPH - 04 se tiene una permeabilidad de E-05 hasta los 19.90m, seguidamente se presenta tramos fracturados, alterados con una permeabilidad alta, ya que al momento de realizar la prueba no levanto la presión, llegando a caudales de inyección de agua de hasta >353.5 l/min, siendo altamente permeable.

Tabla 86

Ensayo de permeabilidad tipo Lugeon del sondaje BHPH-05 - estribo derecho

Item	Sondaje	Norte	Este	Cota	Profundidad	Lugeon		Zonificación Unidades Lugeon		Zonificación Permeabilidad	
						Tramo ensayado		U Lugeon	Zona	Permeabilidad	Clasificación del valor de Lugeon representativo
1	DHPH - 05	8349448	236078	4045	27.2	22.20	23.20	0.2	Z III	6.00E-06 cm/s	Muy Favorable
2						26.20	27.20	20.9	Z I	5.04E-04 cm/s	Muy Desfavorable

Fuente: Elaboración propia

Tabla 87

Ensayo de permeabilidad tipo Lefranc del sondaje BPHH-05 - estribo derecho

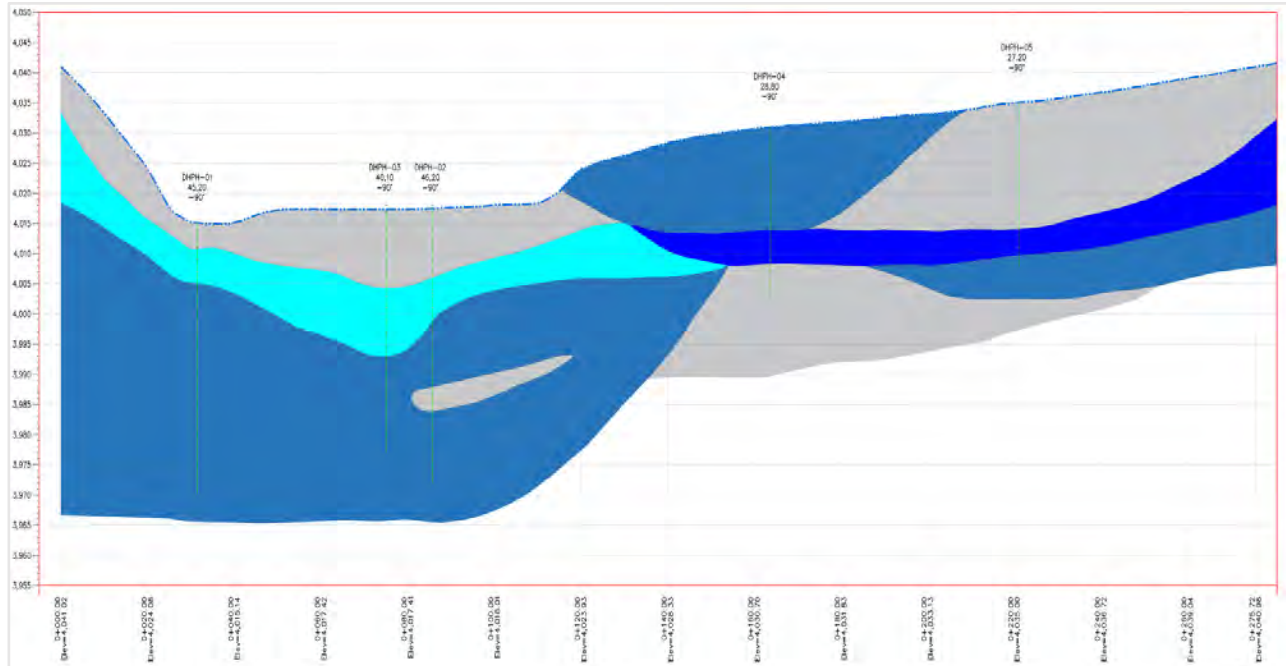
Item	Sondaje	Norte	Este	Cota	Profundidad	Permeabilidad		Clasificación del valor de Lugeon representativo
						Lefranc constante INICIO (m)	FIN (m)	
1	DHPH-05	8349485	236078	4045	27.2	0.00	6.00	7.91E-02
2						0.00	9.20	1.54E-02
3						0.00	13.80	1.14E-02

Fuente: Elaboración propia

Para el sondaje DHPH-05, se realizó 03 pruebas de permeabilidad, (02) ensayos del tipo Lefranc con carga constante y (01) ensayo del tipo Lugeon. En el ensayo del tipo Lefranc se obtuvo una permeabilidad de E-02, y en el ensayo del tipo Lugeon se obtuvieron permeabilidades de E-04 y E-06, teniéndose así permeabilidad moderada.

Figura 69

Sección de permeabilidad del estribo derecho



Fuente: Elaboración propia

9.6. EVALUACIÓN GEOTÉCNICA DEL EJE DE PRESA

Para la evaluación de este estribo se han realizado 02 perforaciones diamantinas (DHPH-02, DHPH-03), así mismos estudios geofísicos.

Para una mejor evaluación de las características geotécnicas de los materiales constituyentes a la zona de cauce del río, se han considerado cinco aspectos fundamentales que son:

- Evaluación de los Perfiles Estratigráficos
- Características físico-mecánicas.
- Clasificación Geomecánica de Bienawsky
- Evaluación Geofísica
- Evaluación de la Permeabilidad

9.6.1. Evaluación de los Perfiles Estratigráficos

En la zona de cauce del río se han realizado las perforaciones diamantinas (DHPH-02, DHPH-03) con profundidades total de 46.20m y 40.10m respectivamente, en el cual se ha encontrado materiales con la siguiente descripción estratigráfica:

El sondaje DHPH-02 está conformado por suelos (bolonería, gravas y arena) de origen fluvial con una potencia de 10.65m, a continuación, roca ígnea volcánica "Toba" del tipo soldada (ignimbrita) perteneciente al Grupo Barroso (Formación Pampa Garzas), con fracturamiento moderado a fuerte, saturado, porosidad alta, se evidencia microcristales de cuarzo, plagioclasa y micas.

El sondaje DHPH-03, está conformado materiales sueltos (Bolonería, gravas limosas y arena) hasta los 19 metros, seguido de roca volcánica masiva y de la misma

formación, con fracturamiento moderado a fuerte, saturado, poroso, se evidencia cristales de cuarzo, micas de forma diseminada y en algunos niveles oxido de hierro y limonita.

9.6.2. Características físico-mecánicas

Las características físicas-mecánicas del material rocoso de tipo ignimbrita con nivel de fracturamiento moderado que constituye la zona de cauce del rio son:

Tabla 88

Codificación de muestras representativas en la zona de cauce de rio

Sondaje	Código de muestra	Profundidad		Litología	Ubicación
		Desde	Hasta		
DHPH-02	MNDH2-01	35.58	35.80	Toba (Ignimbrita)	Cauce de rio
	TXDH2-01	20.40	21.03		
DHPH-03	MNDH3-01	21.10	21.28		
	MNDH3-02	38.70	38.84		
	TXDH5-01	21.47	21.94		

Fuente: Elaboración propia

Se realizaron pruebas en laboratorio certificado, de muestras en superficie y de los testigos de perforación, los cuales nombramos a continuación:

- Abrasión Los Ángeles
- Resistencia a la compresión simple
- Propiedades físicas de la roca
- Ensayo triaxial en roca.
- Ensayo de durabilidad al sulfato de sodio y sulfato de magnesio

A continuación, presentamos un cuadro resumen de los resultados obtenidos de las pruebas de laboratorio realizadas:

Tabla 89

Propiedades físico-químicas de las muestras representativas del sondaje DHPH-02

Sondaje	Código de muestra	Profundidad		Litología	Ubicación	Cohesión (Mpa)	Angulo de fricción (°)	Resistencia a la compresión simple	Densidad (g/cm ³)	Peso específico (g/cm ³)	Porosidad aparente (%)	Peso específico aparente (kN/m ³)	Absorción (%)
		Desde	Hasta										
DHPH- 02	MNDH2-01	35.58	35.80	Toba (Ignimbrita)	Cauce de río	-	-	167	1.61	-	29.48	15.80	18.30
	TXDH2-01	20.40	21.03			31.77	5.58	-	-	-	-	-	-

Fuente: Elaboración propia

Tabla 90

Propiedades físico-químicas de las muestras representativas del sondaje DHPH-03

Sondaje	Código de muestra	Profundidad		Litología	Ubicación	Cohesión (Mpa)	Angulo de fricción (°)	Resistencia a la compresión simple	Densidad (g/cm ³)	Peso específico (g/cm ³)	Porosidad aparente (%)	Peso específico aparente (kN/m ³)	Absorción (%)
		Desde	Hasta										
DHPH - 03	MNDH3-01	21.10	21.28	Toba (Ignimbrita)	Cauce de río	-	-	189	1.56	-	27.89	15.39	17.89
	MNDH3-02	38.70	38.84			-	-	179	1.59	-	30.96	15.48	19.61
	TXDH3-01	21.47	21.94			33.74	6.20	-	-	-	-	-	-

Fuente: Elaboración propia

Presentamos las características de la roca superficial de la zona de cauce de río en el siguiente cuadro:

Tabla 91

Propiedades físico-químicas de la roca superficial de la zona de cauce de río

Código de muestra	Litología	Ubicación	Resistencia a la compresión simple (kg/cm ²)	Peso específico (g/cm ³)	Densidad (g/cm ³)	Absorción (%)	Porosidad aparente (%)	Peso específico aparente (kN/m ³)	Abrasión de los Angeles (% pérdida)	Durabilidad sulfato de sodio y magnesio (%)
MRC - 01	Toba (Ignimbrita)	Cauce de río	316	2.03	1.81	12	21.83	17.84	44	83.6

Fuente: Elaboración propia

A. Análisis de las propiedades resistentes del Cauce de Río

Dentro de las propiedades resistentes; para el sondaje DPHH-02 se obtuvo un valor de resistencia a la compresión simple de **167kg/cm²** a una profundidad de 35.58m. Para el sondaje DPHH-03 se obtuvo un valor de resistencia a la compresión simple de **189 kg/cm²** a una profundidad de 21.10m y **179 kg/cm²** a una profundidad de 38.70m.

Los valores corresponden al sistema UCS (Mpa), dando valores para el sondaje DPHH-02: de **16.7 Mpa**, mientras que para el sondaje DPHH-03 un valor de **18.9 Mpa** y **17.9 Mpa**.

Tabla 92

Clasificación de las rocas a partir de su resistencia a compresión simple

Resistencia Mpa	Condición	Descripción
5 a 20	Muy débil	Sedimentarias alteradas y debidamente compactadas.
20 a 40	Débil	Sedimentarias debidamente cementados.
40 a 80	Resistencia media	Sedimentarias competentes y rocas ígneas cuarzosas de densidad un poco baja.
80 a 160	Resistencia alta	Areniscas de grano fino.
160 a 320	Resistencia muy alta	Cuarzitas, rocas ígneas densas de grano fino.

Fuente: Manual de diseño de obras civiles, B.3,4 México, Comisión Federal de Electricidad, 1979

Teniendo en consideración la tabla 92; el sondaje DPHH-02 presenta una condición de resistencia "muy débil", en tanto para el sondaje DPHH-03 una condición "muy débil a débil".

A continuación, se presenta la clasificación de acuerdo a su resistencia a compresión por distintos autores que clasifican la roca en función al rango de valores.

Tabla 93

Clasificación de las rocas por distintos autores en función a la resistencia a compresión simple

Resistencia a compresión (Mpa)	ISMR (1981)	Geological Society of London (1970)	Bieniawski (1973)	Ejemplos
< 1	Suelos			
1 a 5	Muy blanda	Blanda >1.25	Muy baja	Sal, lutitas, limolita, marga, toba, carbón
5 a 12.5	Blanda	Moderadamente blanda		
12.5 a 25		Moderadamente dura	Baja	Esquisto, pizarra
25 a 50	Moderadamente dura			
50 a 100	Dura	Dura	Media	Rocas metamórficas, esquistos, mármol, granito, gneiss, arenisca, caliza porosa
100 a 200	Muy dura	Muy dura	Alta	Rocas ígneas y metamórficas, areniscas muy cementadas, caliza dolomía
> 200		Extremadamente dura	Extremadamente dura	Muy alta
> 250				

Fuente: Ingeniería Geológica, Gonzales de vallejo, Cuadro 3.10, pág. 133, España

De acuerdo a la tabla 93, para el sondaje BHPH-02 se puede clasificar: Según la ISMR (1981) en "blanda", según la Geological Society of London (1970) en "moderadamente dura", y según Bieniawski (1973) en "muy baja".

Para el sondaje BHPH-03 según la ISMR (1981) en "blanda", según la Geological Society of London (1970) en "moderadamente dura" y según Bieniawski (1973) en "muy baja".

B. Cálculo de la capacidad admisible

Método de Serrano y Olalla

Para calcular la Tensión Admisible del terreno en estos materiales se ha utilizado el método desarrollado por Serrano y Olalla (2001) cuya formulación integra parámetros geomecánicos establecidos por los autores Hoek y Brown (1977) en función de las características del macizo rocoso (naturaleza de la roca, resistencia a compresión, carga puntual sobre muestras de roca, índice RQD., espaciado y estado de las discontinuidades, filtraciones y presencia de agua, etc.). El coeficiente de seguridad a introducir (F) tiene en cuenta las variaciones estadísticas de los parámetros de la roca y la probabilidad de rotura del cemento (F_p), además considera las incertidumbres relacionadas con el criterio de rotura del macizo rocoso (F_m). El cálculo se desarrolla mediante las siguientes ecuaciones:

$$P_h = \beta \cdot (N_\beta - \xi) \qquad P_{adm} = \frac{P_h}{F} \qquad F = F_p \cdot F_m$$

Donde:

P_H = Carga de hundimiento (MPa)

P_{adm} = Carga admisible (MPa)

F = Coeficiente de seguridad global (adimensional)

F_p y F_m = Coeficientes de seguridad parciales (adimensional)

N_β = Coeficiente de carga de hundimiento. Obtenido a partir de los ábacos de Serrano y Olalla, 1998.

β y ξ = Parámetros que definen el comportamiento de la matriz rocosa.

$$\beta = \frac{m_0 \cdot \sigma_c}{8} \cdot e^{\left(\frac{RMR-100}{a}\right)} \text{ (MPa)}$$

$$\xi = \frac{8}{m_0^2} \cdot e^{\left(\frac{RMR-100}{a} / (a-2 \cdot b)\right)} \text{ (adimensional)}$$

m_0 = Constante característica de la matriz rocosa (adimensional).

σ_c = Resistencia a la compresión simple de la matriz rocosa (MPa)

RMR = Índice Rock Mass Ratio, Bieniawski, 1986

a = Parámetro adimensional. Para rocas no alteradas por voladuras toma el valor de 28 y para rocas afectadas por voladuras toma el valor de 14.

b = Parámetro adimensional. Para rocas no alteradas por voladuras toma el valor de 9 y para rocas afectadas por voladuras toma el valor de 6.

El sondaje DPH-02 se zonifico de acuerdo a su resistencia y clasificación RMR, desde los 9.20m hasta los 46.20m, según los resultados de la prueba de resistencia a la compresión simple se obtuvo un valor de 167kg/cm², índice de RMR de 71 puntos y un peso específico de 2.03 gr/cm³. Mientras que en el sondaje DPH-03 desde los 11.44m hasta los 40.10m, en resistencia a la compresión simple un valor de 184 kg/cm², índice de RMR de 67 puntos y peso específico de 2.03 kg/cm³.

A continuación, se presenta los cálculos:

Figura 70

Carga admisible de cimentaciones en roca del sondaje DPHH-02, desde 9.20m hasta 46.20m.

Carga admisible de cimentaciones en roca basada en un criterio de rotura no lineal			
(para una inclinación de la carga aplicada de 0°)			
$\sigma_c (q_u) =$	Resistencia a la compresión simple de la roca.	167.00 kg/cm ²	16.377 Mpa
RMR =	Clasificación geomecánica de la roca según Bieniawski.	71 %	71 %
$m_0 =$	Parámetro m para rocas intactas.	15	15
$i_1 =$	Inclinación de la carga sobre la cimentación.	0 °	0 °
$\gamma =$	Peso específico.	2.03 gr/cm ³	19.91 KN/m ³
H (D) =	Altura de tierras por encima de la superficie de cimentación.	9.20 m	
$\sigma_1 (q_0) =$	Carga externa.	183.15 KN/m ²	0.183 Mpa
a =		25	
b =		8	
m =	$m_0 \cdot \exp ((RMR - 100 / a)$		4.7023
s =	$\exp ((RMR - 100 / b)$		0.0266
$\beta =$	$(m \cdot \sigma_c) / 8$		9.6262
$\zeta =$	$(8 \cdot s) / m^2$		0.0096
$\sigma_{01} =$	$(\sigma_1 / \beta) + \zeta$		0.0287
$N_\beta =$		5.89	
$P_h (q_h) =$	$\beta \cdot (N_\beta - \zeta)$ Carga de hundimiento.		56.587 Mpa
$F_p =$	Coefficiente de seguridad parcial de los parámetros.	20	
$F_m =$	coeficiente de seguridad parcial del modelo.	1.18	
F =	$F_p \cdot F_m$		23.6
$\sigma_{adh} (q_{adm}) =$		2.3977 Mpa	23.977 kp/cm ²
E =	Módulo de deformación.	42.00 Gpa	420000 kp/cm ²
$E_{min} =$		16.80 Gpa	168000 kp/cm ²
$E_{max} =$		67.20 Gpa	672000 kp/cm ²

Para el sondaje DPHH-02, desde 9.20m hasta 46.20m, se tiene una carga admisible de **23.977 kg/cm²**, donde la roca se presenta masiva y compacta, con fracturamiento moderado.

Figura 71

Carga admisible de cimentaciones en roca del sondaje DPH-03, desde 11.44m hasta 40.10m.

Carga admisible de cimentaciones en roca basada en un criterio de rotura no lineal			
<small>(para una inclinación de la carga aplicada de 0°)</small>			
$\sigma_c (q_u) =$	Resistencia a la compresión simple de la roca.	184.00 kg/cm ²	18.044 Mpa
RMR =	Clasificación geomecánica de la roca según Bieniawski.	67 %	67 %
$m_0 =$	Parámetro m para rocas intactas.	15	15
$i_1 =$	Inclinación de la carga sobre la cimentación.	0 °	0 °
$\gamma =$	Peso específico.	2.03 gr/cm ³	19.91 KN/m ³
H (D) =	Altura de tierras por encima de la superficie de cimentación.	11.44 m	
$\sigma_1 (q_0) =$	Carga externa.	227.74 KN/m ²	0.228 Mpa
a =		22	
b =		8	
m =	$m_0 \cdot \exp ((RMR - 100 / a)$		3.3470
s =	$\exp ((RMR - 100 / b)$		0.0162
$\beta =$	$(m \cdot \sigma_c) / 8$		7.5491
$\zeta =$	$(8 \cdot s) / m^2$		0.0115
$\sigma_{01} =$	$(\sigma_1 / \beta) + \zeta$		0.0417
$N_{\beta} =$		6.26	
$P_h (q_h) =$	$\beta \cdot (N_{\beta} - \zeta)$ Carga de hundimiento.		47.144 Mpa
$F_p =$	Coficiente de seguridad parcial de los parámetros.	20	
$F_m =$	coeficiente de seguridad parcial del modelo.	1.25	
F =	$F_p \cdot F_m$		25
$\sigma_{adh} (q_{adm}) =$		1.8858 Mpa	18.858 kp/cm ²
E =	Módulo de deformación.	34.00 Gpa	340000 kp/cm ²
$E_{min} =$		13.60 Gpa	136000 kp/cm ²
$E_{max} =$		54.40 Gpa	544000 kp/cm ²

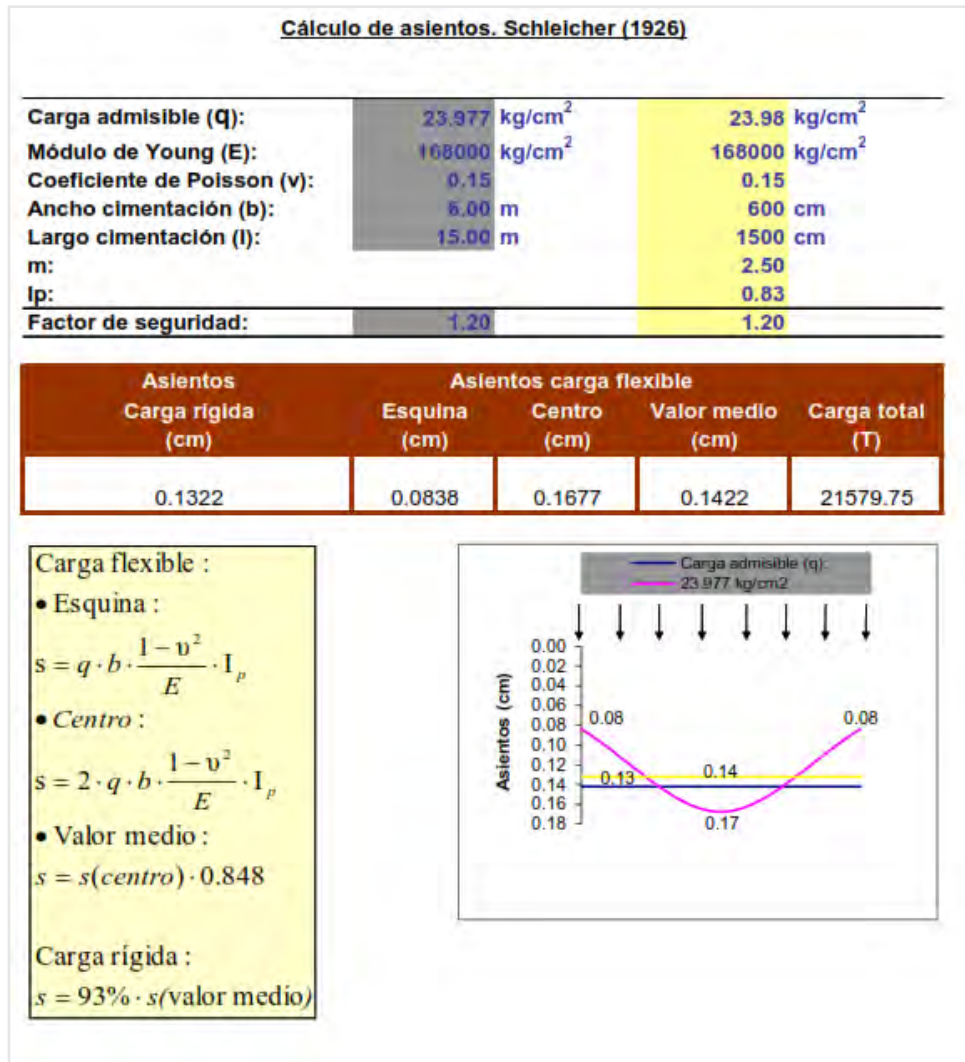
Para el sondaje DPH-03, desde 11.44m hasta 40.10m, se tiene una carga admisible de **18.858 kg/cm²**, donde la roca se presenta masiva y compacta.

Cálculo de asientos por el Método Schleicher (1962)

De acuerdo con los datos para el cálculo de asientos generales por el método de Schleicher (1962), para el sondaje DPH-02 desde los 9.20 m hasta los 46.20 m se tiene un ancho de cimentación de 6m, longitud de 15 m, factor de seguridad de 1.20, y factor de carga admisible de 23.977 kg/cm².

Figura 72

Cálculo de asientos método Schleicher (1962), sondaje DHPH-02 desde 9.20m hasta 46.20m



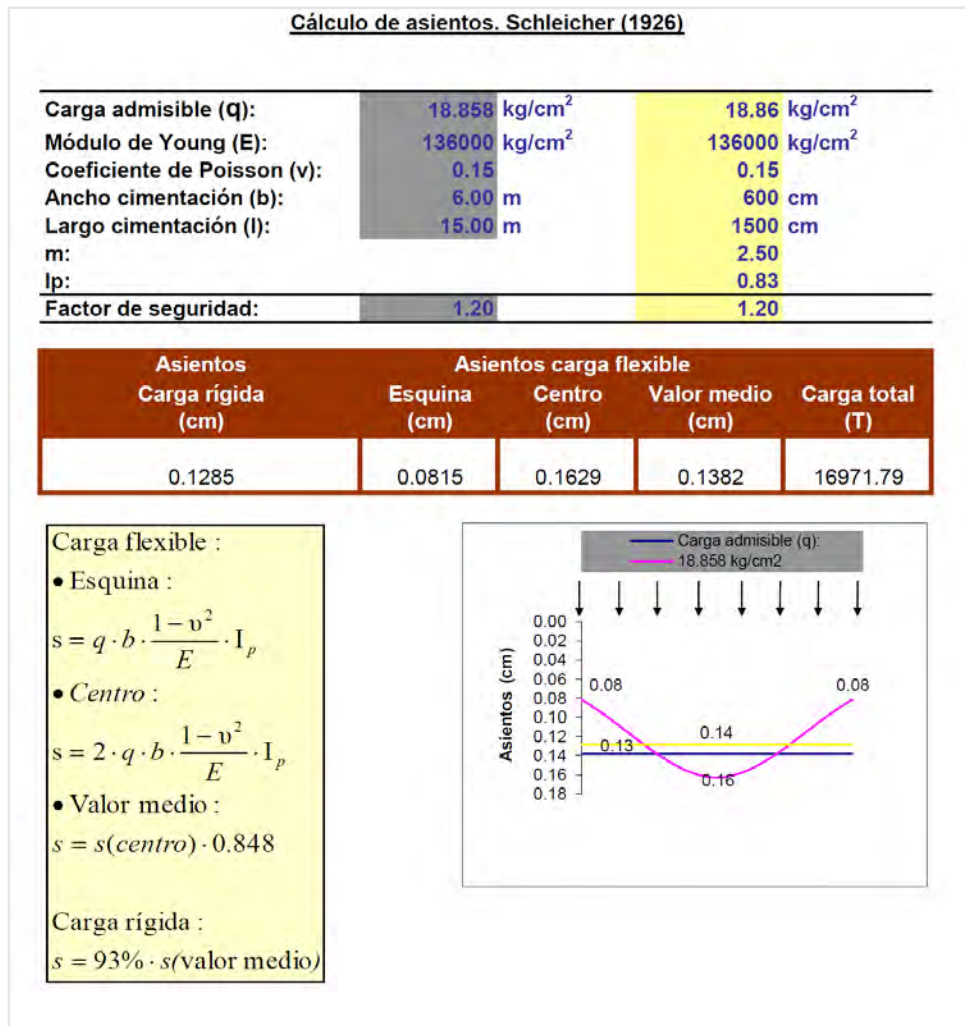
Fuente: Elaboración propia

Se tiene para asientos de carga rígida un valor de **0.1322 cm**, y para asientos de carga flexible **21579.75 (mm)**.

Para el sondaje DPH-03 desde los 11.44m hasta los 40.10 m, se tiene un ancho de cimentación de 6m, longitud de 15m, factor de seguridad de 1.20, y un factor de carga admisible de 18.858 kg/cm².

Figura 73

Cálculo de asientos método Schleicher (1962), sondaje DPH-03 desde 11.44m hasta 40.10m



Fuente: Elaboración propia

Se tiene para asientos de carga rígida un valor de **0.1285 cm**, y para asientos de carga flexible de **16971.79 (mm)**.

C. Análisis Geotécnico de las propiedades químicas

La prueba de solidez mediante sulfato de sodio o sulfato de magnesio es un método por el cual es posible estimar cualitativamente la durabilidad de roca bajo condiciones de intemperie.

Se obtuvo una pérdida de **83.6%**, debido a la alta porosidad y a la baja resistencia de la roca superficial muestreada en la zona de cause.

De acuerdo con el MANUAL DE ESPECIFICACIONES TÉCNICAS MTC - CAPITULO 6: OBRAS DE ARTE Y DRENAJE, Sección 610: Concreto la norma menciona que "El agregado fino no podrá presentar pérdidas superiores a diez por ciento (10%) o quince por ciento (15%), al ser sometido a la prueba de solidez en sulfatos de sodio o magnesio respectivamente".

En caso de no cumplirse esta condición, el agregado podrá aceptarse siempre que; "habiendo sido empleado para preparar concretos de características similares, expuestos a condiciones ambientales parecidas durante largo tiempo, haya dado pruebas de comportamiento satisfactorio."

Teniendo esta consideración, la roca no cumple con las especificaciones de la norma, excede en alto porcentaje de perdida, por lo que se deberá tener en cuenta esta apreciación.

Abrasión Los Ángeles

De acuerdo con el MANUAL DE ESPECIFICACIONES TÉCNICAS MTC - CAPITULO 6: OBRAS DE ARTE Y DRENAJE, Sección 610: menciona, "El desgaste del

agregado grueso en la máquina de Los Ángeles (norma de ensayo MTC E 207) no podrá ser mayor de cuarenta por ciento (40%)",

Teniendo esta consideración, se obtuvo un porcentaje de pérdida de **44%**, por lo que no cumple con las especificaciones técnicas. Sin embargo, debemos señalar que en la zona de cauce las rocas presentan saturación superficial, fracturamiento débil y se encuentra masivo.

9.6.3. Clasificación geomecánica de Bienawski

Se ha obtenido las características geomecánicas de los materiales constituyentes de la zona del cauce de río aplicando el sistema de Clasificación Geomecánica de Bienawski, obteniendo los siguientes resultados:

Tabla 94

Clasificación Geomecánica sondaje DPHH-02 – Cauce de rio

CODIGO SONDAJE	DESDE	HASTA	INCLINACIÓN	DIAMETRO DE PERFORACIÓN	N° CAJA	LONGITUD PERFORADA (m)	LONGITUD RECUPERADA (m)	RECUPERACION (%)	RQD (%)	RMR	CLASIFICACION DEL MACIZO	
DPHH - 02	0.00	0.60	-90	HQ	01	0.60	0.45	75%	0%	0	SIN CLASIFICACIÓN GEOMECÁNICA	
	0.60	1.20	-90	HQ	01	0.60	0.45	75%	0%	0		
	1.20	1.50	-90	HQ	01	0.30	0.25	83%	0%	0		
	1.50	1.90	-90	HQ	01	0.40	0.35	88%	0%	0		
	1.90	2.20	-90	HQ	01	0.30	0.25	83%	0%	0		
	2.20	2.50	-90	HQ	01	0.30	0.25	83%	0%	0		
	2.50	2.80	-90	HQ	01	0.30	0.25	83%	0%	0		
	2.80	3.10	-90	HQ	01	0.30	0.25	83%	0%	0		
	3.10	3.50	-90	HQ	02	0.40	0.35	88%	0%	0		
	3.50	3.90	-90	HQ	02	0.40	0.35	88%	0%	0		
	3.90	4.20	-90	HQ	02	0.30	0.25	83%	0%	0		
	4.20	4.40	-90	HQ	02	0.20	0.20	100%	0%	0		
	4.40	4.80	-90	HQ	02	0.40	0.40	100%	0%	0		
	4.80	5.10	-90	HQ	02	0.30	0.30	100%	0%	0		
	5.10	5.50	-90	HQ	02	0.40	0.40	100%	0%	0		
	5.50	6.10	-90	HQ	02	0.60	0.50	83%	0%	0		
	6.10	6.40	-90	HQ	02	0.30	0.25	83%	0%	0		
	6.40	6.80	-90	HQ	03	0.40	0.35	88%	0%	0		
	6.80	7.30	-90	HQ	03	0.50	0.00	0%	0%	0		
	7.30	7.80	-90	HQ	03	0.50	0.45	90%	0%	0		
	7.80	8.30	-90	HQ	03	0.50	0.45	90%	0%	0		
	8.30	8.70	-90	HQ	03	0.40	0.45	113%	0%	0		
	8.70	8.80	-90	HQ	03	0.10	0.00	0%	0%	0		
	8.80	9.40	-90	HQ	03	0.60	0.60	100%	0%	0		
	9.40	10.40	-90	HQ	03	1.00	1.00	100%	75%	47		III REGULAR
	10.40	11.00	-90	HQ	04	0.60	0.60	100%	0%	0		SIN CLS GEOMECÁNICA
	11.00	12.60	-90	HQ	04	1.60	1.60	100%	50%	52		III REGULAR
	12.60	14.20	-90	HQ	05	1.60	1.60	100%	91%	76		II BUENA
	14.20	15.80	-90	HQ	05	1.60	1.60	100%	100%	76		II BUENA
	15.80	16.20	-90	HQ	06	0.40	0.35	88%	457%	74		II BUENA
	16.20	17.60	-90	HQ	06	1.40	1.40	100%	93%	81	I MUY BUENA	
	17.60	19.20	-90	HQ	06	1.60	1.60	100%	75%	76	II BUENA	
	19.20	20.80	-90	HQ	07	1.60	1.60	100%	94%	74	II BUENA	
	20.80	22.20	-90	HQ	08	1.40	1.40	100%	86%	69	II BUENA	
	22.20	23.80	-90	HQ	08	1.60	1.60	100%	56%	77	II BUENA	
	23.80	25.20	-90	HQ	08	1.40	1.40	100%	86%	70	II BUENA	
25.20	26.80	-90	HQ	09	1.60	1.60	100%	88%	78	II BUENA		
26.80	28.20	-90	HQ	09	1.40	1.40	100%	79%	72	II BUENA		
28.20	29.80	-90	HQ	10	1.60	1.60	100%	28%	56	III REGULAR		
29.80	31.20	-90	HQ	10	1.40	1.40	100%	50%	50	III REGULAR		
31.20	32.80	-90	HQ	11	1.60	1.60	100%	69%	56	III REGULAR		
32.80	34.20	-90	HQ	11	1.40	1.40	100%	86%	73	II BUENA		
34.20	35.80	-90	HQ	12	1.60	1.60	100%	69%	80	II BUENA		
35.80	37.20	-90	HQ	13	1.40	1.40	100%	64%	73	II BUENA		
37.20	38.80	-90	HQ	13	1.60	1.60	100%	88%	73	II BUENA		
38.80	40.20	-90	HQ	13	1.40	1.40	100%	71%	79	II BUENA		
40.20	41.80	-90	HQ	14	1.60	1.60	100%	94%	77	II BUENO		
41.80	43.20	-90	HQ	15	1.40	1.40	100%	86%	77	II BUENO		
43.20	44.80	-90	HQ	15	1.60	1.60	100%	88%	74	II BUENO		
44.80	46.20	-90	HQ	16	1.40	1.40	100%	93%	69	II BUENO		

Fuente: Elaboración propia

Conforme se puede observar en los resultados de la perforación diamantina respecto al sondaje DPHH-02, se puede concluir que presenta materiales sueltos como son; (bolonería, gravas, arenas), según la clasificación SUCS le corresponde una clasificación de suelos tipo GW-GM / SW-SM. A partir de los 9.40 metros y en referencia

a los valores del RMR, corresponden a material rocoso con clasificación de la misma del tipo II y III, es decir una calidad “buena a regular”

Tabla 95

Clasificación Geomecánica sondaje DPHP-03 – Cauce de rio

CODIGO SONDAJE	DESDE	HASTA	INCLINACIÓN	DIAMETRO DE PERFORACIÓN	N° CAJA	LONGITUD PERFORADA (m)	LONGITUD RECUPERADA (m)	RECUPERACION (%)	RQD (%)	RMR	CLASIFICACION DEL MACIZO
DHPH - 03	0.00	0.90	-90	HQ	01	0.90	0.90	100%	0%	0	SIN CLASIFICACIÓN GEOMECAÍNICA
	0.90	1.40	-90	HQ	01	0.50	0.50	100%	0%	0	
	1.40	2.00	-90	HQ	01	0.60	0.60	100%	0%	0	
	2.00	2.70	-90	HQ	01	0.70	0.70	100%	0%	0	
	2.70	3.50	-90	HQ	01	0.80	0.60	75%	0%	0	
	3.50	4.30	-90	HQ	02	0.80	0.80	100%	0%	0	
	4.30	4.80	-90	HQ	02	0.50	0.50	100%	0%	0	
	4.80	5.20	-90	HQ	02	0.40	0.40	100%	0%	0	
	5.20	5.80	-90	HQ	02	0.60	0.60	100%	0%	0	
	5.80	6.50	-90	HQ	02	0.70	0.70	100%	0%	0	
	6.50	7.20	-90	HQ	03	0.70	0.70	100%	0%	0	
	7.20	7.50	-90	HQ	03	0.30	0.30	100%	0%	0	
	7.50	8.30	-90	HQ	03	0.80	0.70	87%	0%	0	
	8.30	8.70	-90	HQ	03	0.40	0.40	100%	0%	0	
	8.70	9.53	-90	HQ	03	0.83	0.60	72%	0%	0	
	9.53	10.60	-90	HQ	04	1.07	1.10	103%	0%	0	
	10.60	11.30	-90	HQ	04	0.70	0.70	100%	0%	0	
	11.30	11.70	-90	HQ	04	0.40	0.40	100%	0%	0	
	11.70	13.00	-90	HQ	04	1.30	1.30	100%	23%	41	III REGULAR
	13.00	14.60	-90	HQ	05	1.60	1.60	100%	47%	121	III REGULAR
	14.60	16.10	-90	HQ	05	1.50	1.60	107%	19%	41	III REGULAR
	16.10	17.70	-90	HQ	06	1.60	1.50	94%	50%	64	II BUENA
	17.70	19.10	-90	HQ	06	1.40	1.40	100%	71%	64	II BUENA
	19.10	20.70	-90	HQ	07	1.60	1.60	100%	88%	80	II BUENA
	20.70	22.10	-90	HQ	07	1.40	1.40	100%	64%	70	II BUENA
	22.10	23.50	-90	HQ	08	1.40	1.40	100%	54%	63	II BUENA
	23.50	25.10	-90	HQ	09	1.60	1.60	100%	56%	53	III REGULAR
	25.10	26.70	-90	HQ	09	1.60	1.60	100%	28%	63	II BUENA
	26.70	27.90	-90	HQ	10	1.20	1.20	100%	79%	76	II BUENA
	27.90	29.50	-90	HQ	10	1.60	1.60	100%	75%	78	II BUENA
	29.50	31.00	-90	HQ	11	1.50	1.50	100%	93%	69	II BUENA
	31.00	32.60	-90	HQ	11	1.60	1.60	100%	75%	55	III REGULAR
	32.60	34.10	-90	HQ	12	1.50	1.50	100%	80%	71	II BUENA
	34.10	35.70	-90	HQ	12	1.60	1.60	100%	59%	57	III REGULAR
35.70	37.10	-90	HQ	13	1.40	1.40	100%	68%	64	II BUENA	
37.10	38.70	-90	HQ	13	1.60	1.60	100%	81%	74	II BUENA	
38.70	40.10	-90	HQ	14	1.40	1.40	100%	86%	74	II BUENA	

Fuente: Elaboración propia

Respecto al sondaje DHPH-03, se puede concluir que presenta una potencia considerable de materiales sueltos como son; (bolonería, gravas, arenas), según la clasificación SUCS le corresponde una clasificación de suelos tipo GW-GM. A partir de los 11.70 metros y en referencia a los valores del RMR, corresponden a material rocoso con clasificación de la misma del tipo II y III, es decir una calidad “buena a regular”.

Análisis Cinemático de talud - zona de cauce de rio

Se ubica en el margen derecho de la zona de presa Huayllumayo, se realizaron 02 estaciones geomecánicas (EG-03 y EG-04) obteniéndose los datos que se presenta en la siguiente tabla.

Tabla 96

Buzamiento y dirección de buzamiento - cauce de rio

CAUCE DE RIO	
DIP	DIP DIR
62	167
19	112
25	143
19	195
89	65
45	145
84	250
83	325
19	67
89	260
86	58
78	260
81	340
10	50
79	310
80	25
80	245
82	335
88	10
85	275

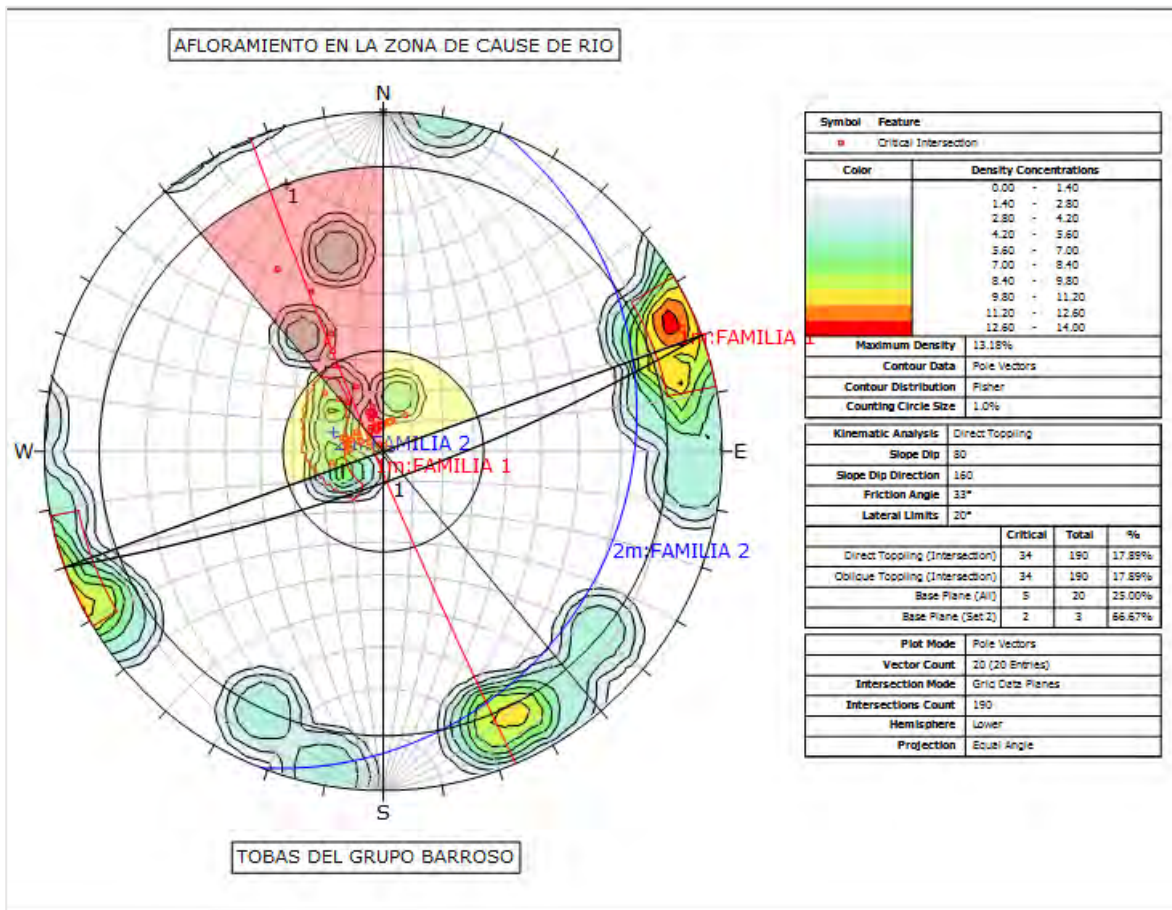
Fuente: Elaboración propia

Para realizar el análisis cinemático de talud se utilizó el software Dips 6.0 del paquete Rocsciense, para los datos ingresados de dip/dip dir, y un talud natural de 160° de azimut, 80° de inclinación y ángulo de fricción promedio de 33°, se tiene una tendencia

de caída de deslizamiento mínimo de *vuelco directo* en un 60%, ya que las intersecciones de los planos en las falsillas es mínima, y en general el talud se muestra estable sin peligro de caída de rocas, sin embargo, la pendiente es casi vertical, la roca se muestra estable y existe poca evidencia de caída de rocas.

Figura 74

Proyección estereográfica del cauce de río



Fuente: Elaboración propia

9.6.4. Evaluación Geofísica

En el cauce de río se han realizado 03 ensayos geofísicos (RS-02, MASW-02, SEV-01) cuya ubicación se puede apreciar en el plano de ubicación de ensayos geofísicos.

Tabla 97

Ensayos geofísicos realizados en el cauce de río

Ensayo Geofísico	Longitud (m)	Unidad de medida Vp promedio (m/s)	Espesor (m)	Litología	Ubicación
RS – 02	120	500	1.5 – 5.6	Suelo de cobertura	Perpendicular al eje, zona de cauce de río
		2750	3.3 – 9.2	Roca blanda	
		3550	-	Roca ligeramente fracturada	
MASW – 02	Puntual	310	5.27	Roca blanda	Punto medio RS-02
		890	-	Roca poco fracturada	
SEV – 01	Puntual	290	1.6	Material aluvial	Cauce de río
		370	-	Roca blanda alterada	

Fuente: Elaboración propia

Como se puede observar en el cuadro correspondientes a este Ítem, los valores de los espesores van desde 1.5m a 5.6m de materiales sueltos lo que correspondería a las gravas limosas con arena, seguido de material rocoso, alteración moderada, fracturación débil y aparentemente se presenta en forma masiva.

9.6.5. Evaluación de la Permeabilidad

Durante el proceso de perforación diamantina se han realizado ensayos de permeabilidad principalmente tipo “Lefranc o a gravedad” y “Lugeon o a presión” en toda la longitud de la perforación cuyos resultados se muestran a continuación:

Tabla 98

Ensayo de permeabilidad tipo Lugeon del sondaje BHPH-02 - cauce de rio

Item	Sondaje	Norte	Este	Cota	Profundidad	Lugeon		Zonificación Unidades Lugeon		Zonificación Permeabilidad	
						Tramo ensayado	U Lugeon	Zona	Permeabilidad	Clasificación del valor de Lugeon representativo	
1	DHPH - 02	8349548	235986	4028	46.2	16.60	17.60	6.3	Z I	1.51E-04 cm/s	Desfavorable
2						24.00	25.20	4.7	Z I	1.21E-04 cm/s	Desfavorable
3						30.00	31.20	943.3	Z I	2.42E-02 cm/s	Muy Desfavorable
4						34.80	35.80	0.6	Z III	1.33E-05 cm/s	Muy Favorable
5						39.20	40.20	3.1	Z I	7.36E-05 cm/s	Desfavorable
6						45.00	46.20	7.7	Z I	1.97 E-04 cm/s	Desfavorable

Fuente: Elaboración propia

Conforme a los resultados obtenidos para la zona del cauce de rio, en el sondaje DHPH - 02 se tiene permeabilidad de E-04 y E-05, es decir presenta una zona casi impermeable.

Para el sondaje DHPH-03, se realizó 03 pruebas de permeabilidad, (01) ensayos del tipo Lefranc con carga constante y (01) ensayo del tipo Lugeon. En el ensayo del tipo Lefranc se obtuvo una permeabilidad de E-02, y en el ensayo del tipo Lugeon se obtuvo permeabilidades de E-04 y E-05, teniéndose así permeabilidad moderada.

Tabla 99

Ensayo de permeabilidad tipo Lefranc del sondaje BHPH-03 - cauce de rio

Item	Sondaje	Norte	Este	Cota	Profundidad	Permeabilidad		Clasificación del valor de Lugeon representativo
						Lefranc constante INICIO (m)	FIN (m)	
1	DHPH-03	8349576	236005	4028	40.1	0.00	5.20	1.57E-01
2						0.00	9.20	1.59E-02
3						0.00	13.80	2.33E-02

Fuente: Elaboración propia

Tabla 100

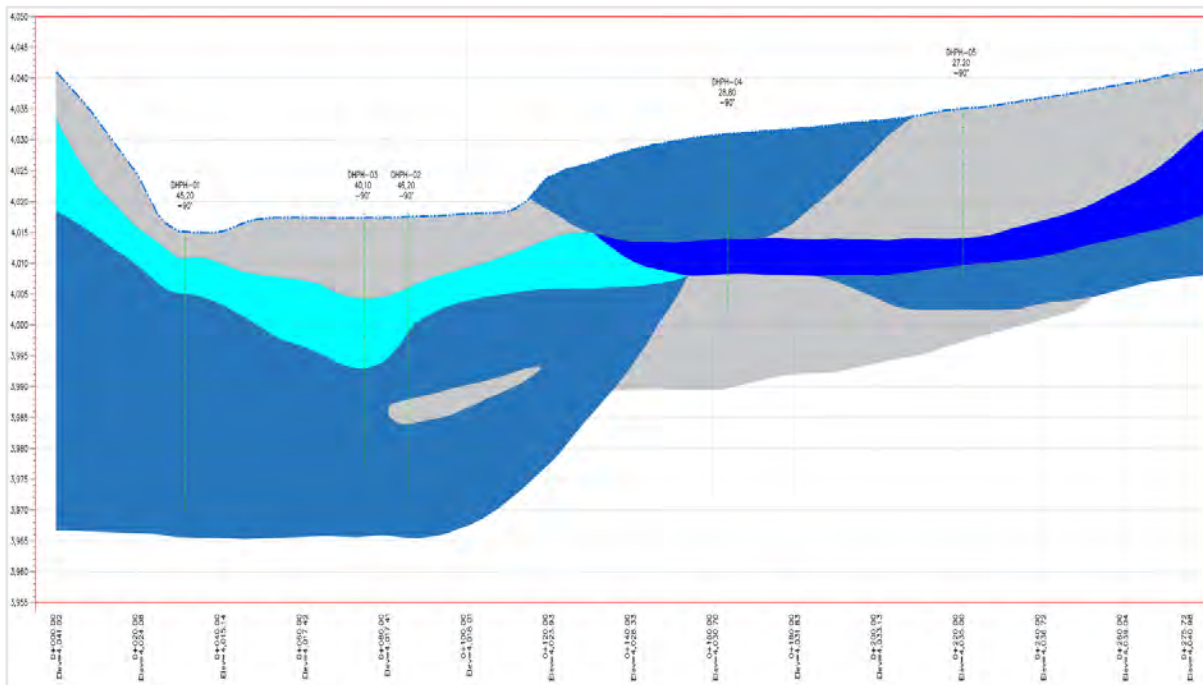
Ensayo de permeabilidad tipo Lugeon del sondaje BHPH-03- cauce de rio

Item	Sondaje	Norte	Este	Cota	Profundidad	Lugeon		Zonificación Unidades Lugeon		Zonificación Permeabilidad	
						Tramo ensayado	U Lugeon	Zona	Permeabilidad	Clasificación del valor de Lugeon representativo	
1	DHPH - 03	8349576	236005	4028	40.1	14.90	16.10	5.1	Z I	1.31E-04 cm/s	Desfavorable
2						20.90	22.10	274	Z I	7.02E-03 cm/s	Muy Desfavorable
3						25.50	26.10	0.7	Z III	1.77E-05 cm/s	Muy Favorable
4						29.80	31.00	5.7	Z I	1.47E-04 cm/s	Desfavorable
5						36.50	37.10	0.4	Z III	1.03E-05 cm/s	Muy Favorable
6						38.90	40.10	0.3	Z III	7.74 E-06 cm/s	Muy Favorable

Fuente: Elaboración propia

Figura 75

Sección de permeabilidad del Eje de Presa



Fuente: Elaboración propia

9.7. EVALUACIÓN GEOTÉCNICA DEL VASO DE LA PRESA

Para la evaluación del vaso de la presa se realizaron 06 calicatas distribuidos en la zona del vaso de la presa, la distribución estuvo limitada por la accesibilidad a la zona del vaso de presa.

La evaluación de las calicatas se realizó principalmente, para conocer las características de los suelos que conforman el vaso de la presa, así mismo la permeabilidad, realizándose pruebas de permeabilidad del tipo Lefranc en los puntos CPH-01 y CPH-06, y pruebas de clasificación en las calicatas con códigos, CPH-01, CPH-02, CPH-03, CPH-04, CPH-05, CPH-06, estos trabajos se realizaron para la correlación del tipo de suelos con la permeabilidad.

Para una mejor evaluación de las características geotécnicas de los materiales constituyentes del vaso de la presa, se han considerado cinco aspectos fundamentales descritos a continuación:

- Evaluación de los Perfiles Estratigráficos
- Evaluación Geofísica

9.7.1. Evaluación de los Perfiles Estratigráficos

De acuerdo con los estudios con la descripción de campo corregidas y de laboratorio de suelos se obtuvieron suelos de origen aluvial y fluvial principalmente, materiales limo-arenosos con gravas seguido de gravas y arenas de origen fluvial en la zona de cause de rio, a profundidad de entre 1.10 m. a 1.80m se evidenció bolonería y bloques de roca.

En orden general podemos interpretar que principalmente se tienen 3 zonas donde la predominancia de los suelos en términos generales interpretativos de acuerdo a la geología, geomorfología y las investigaciones in situ de la zona del vaso de presa, se tienen las siguientes:

ZONA 1

Corresponde a la zona de planicie de inundación conformado por gravas y arenas, predominantemente a partir de los 1.50m se presentan mayor concentración de bolonería y bloques de roca, son materiales sueltos y de baja cohesión, con compacidad nula o muy baja, se encuentran saturados de agua.

Tabla 101

Rango de valores del coeficiente de permeabilidad en suelos de la zona 1

Ítem	Tipo de Suelos	Símbolo	k (cm/s)
1	Grava mal gradada	GP	≥ 1
2	Grava uniforme	GP	0.2 a 1
3	Grava bien graduada	GW	0.05 a 0.3
4	Arena uniforme	SP	5×10^{-5} a 0.2
5	Arena bien graduada	SW	10^{-3} a 0.1
6	Arena limosa	SM	10^{-3} a 5×10^{-3}
7	Arena arcillosa	SC	10^{-4} a 10^{-3}
8	Limo de baja plasticidad	ML	5×10^{-5} a 10^{-4}
9	Arcilla de baja plasticidad	CL	10^{-5} a 10^{-8}

Fuente: Luis Gonzales de vallejo, Ingeniería Geológica cuadro 2.3, pág. 30, España, 2005

De acuerdo a la tabla 101 se estima que tiene un coeficiente de permeabilidad aproximada de 0.05 a 0.3 k(cm/s).

ZONA 2

Corresponde a depósitos de origen aluvial, conformado principalmente por limos arenosos con gravas, en algunos sectores subyacen a estas formaciones niveles de arcillas con gravas, muy cohesivas, color pardo oscuro, seguido de bolonería y bloques de roca de origen coluvial, se presenta principalmente en la unidad geomorfológica de laderas bajas, colinas bajas.

Tabla 102

Rango de valores del coeficiente de permeabilidad en suelos de la zona 2

Ítem	Tipo de Suelos	Símbolo	k (cm/s)
1	Grava mal gradada	GP	≥ 1
2	Grava uniforme	GP	0.2 a 1
3	Grava bien graduada	GW	0.05 a 0.3
4	Arena uniforme	SP	5×10^{-5} a 0.2
5	Arena bien graduada	SW	10^{-3} a 0.1
6	Arena limosa	SM	10^{-3} a 5×10^{-3}
7	Arena arcillosa	SC	10^{-4} a 10^{-3}
8	Limo de baja plasticidad	ML	5×10^{-5} a 10^{-4}
9	Arcilla de baja plasticidad	CL	10^{-5} a 10^{-8}

Fuente: Luis Gonzales de vallejo, Ingeniería Geológica cuadro 2.3, pág 30, España, 2005

De acuerdo a la tabla 102 se estima que tiene un coeficiente de permeabilidad aproximada de 5×10^{-5} a 10^{-4} k(cm/s).

ZONA 3

De acuerdo a la geología esta zona corresponde a materiales de origen morrénico, conformados por bolonería, grava de matriz limoarenosa, poco compactas, porosidad alta, fragmentos angulosos y permeabilidad muy baja.

Tabla 103

Rango de valores del coeficiente de permeabilidad en suelos de la zona 3

Ítem	Tipo de Suelos	Símbolo	k (cm/s)
1	Grava mal gradada	GP	≥ 1
2	Grava uniforme	GP	0.2 a 1

3	Grava bien graduada	GW	0.05 a 0.3
4	Arena uniforme	SP	5×10^{-5} a 0.2
5	Arena bien graduada	SW	10^{-3} a 0.1
6	Arena limosa	SM	10^{-3} a 5×10^{-3}
7	Arena arcillosa	SC	10^{-4} a 10^{-3}
8	Limo de baja plasticidad	ML	5×10^{-5} a 10^{-4}
9	Arcilla de baja plasticidad	CL	10^{-5} a 10^{-8}

Fuente: Luis Gonzales de vallejo, Ingeniería Geológica cuadro 2.3, pág 30, España, 2005

De acuerdo a la tabla 103 se estima que tiene un coeficiente de permeabilidad aproximada de ≥ 1 k(cm/s).

Tabla 104

Profundidad y coeficiente de permeabilidad de calicatas en el vaso de presa

Código	Este	Norte	Cota	Profundidad (m)	Clasificación SUCS	Potencia de estrato		Coeficiente de permeabilidad K (cm/s)	Ubicación
						Desde	Hasta		
C – 01	236034	8349441	4041	1.50	PT	0.00	0.10	10^{-4} - 10^{-3}	Vaso de presa
					GP – GC	0.10	0.40	0.05 – 0.3	
					SC – SM	0.40	0.78	10^{-3} – 0.1	
					Bolonería	0.78	1.50	-	
C – 02	235980	8349594	4036	2.40	GW	0.00	1.60	0.05 – 0.3	Eje de presa
					SP	1.60	1.80	10^{-3} – 0.1	
					SW	1.80	2.40	0.05 – 0.3	
C – 03	235955	8349122	4035	1.70	PT	0.00	0.20	10^{-4} - 10^{-3}	Vaso de presa
					SP – SM	0.20	1.40	5×10^{-5} – 0.2	
					SP	1.40	1.70	10^{-3} – 0.1	
C – 04	235871	8349201	4035	1.40	PT	0.00	0.10	10^{-4} - 10^{-3}	Vaso de presa
					GP – GM	0.10	0.90	0.05 – 0.3	
					SP	0.90	1.40	10^{-3} – 0.1	
C – 05	235748	8349130	4035	1.80	PT	0.00	0.10	10^{-4} - 10^{-3}	Vaso de presa
					GP - GM	0.10	1.10	0.05 – 0.3	
					SP	1.10	1.50	10^{-3} – 0.1	
					GP	1.50	1.80	0.2 – 1	
C – 06	235995	8349399	4040	1.30	PT	0.00	0.10	10^{-4} - 10^{-3}	Vaso de presa
					GM – GC	0.10	0.60	0.05 – 0.3	
					GP – GC	0.60	1.10	≥ 1	
					Bolonería	1.10	1.30	-	

Fuente: Elaboración propia

9.7.2. Evaluación geofísica

En el vaso de la presa se han realizado 04 ensayos geofísicos (RS-04, MASW-04, SEV-05 y SEV-06) cuya ubicación se puede apreciar en el plano de ubicación de ensayos geofísicos.

Tabla 105

Ensayos geofísicos realizados en el vaso de presa

Ensayo Geofísico	Longitud (m)	Unidad de medida	Espesor (m)	Litología	Ubicación
		Vp promedio (m/s)			
RS-04	120	1150	5.6 - 9.7	Suelo no consolidado	Margen derecho del vaso de presa
		2900	3.4 - 8.9	Roca muy alterada	
		3550	–	Roca de alta compacidad	
MASW-04	Puntual	784	7.2	Suelo muy denso	Punto medio RS-04
		1095	–	Roca poco alterada	
SEV-5	Puntual	340Ωm	1.8	Material de cobertura	Vaso de presa
		163Ωm	9.03	Areniscas húmedas	
		346Ωm	20.13	Tobas alteradas	
		154Ωm	–	Roca fracturada	
SEV-6	Puntual	155.6Ωm	3.5	Gravas	Vaso de presa
		68Ωm	7.9	Areniscas finas compactas	
		260.5Ωm	–	Roca blanda alterada	

Fuente: Elaboración propia

En el margen derecho del vaso de presa se realizó ensayo de refracción sísmica y MASW, donde se tiene suelo no consolidado una potencia de hasta 9.7m, posiblemente se correlacione con las gravas y arenas que se encuentra en el sondaje DPH-05, seguido de una potencia de 3.4m a 8.9m de material rocoso alterado, y subyaciendo a este, roca masiva poco alterada.

En la zona de cause se realizaron 02 ensayos SEV, donde encontramos una potencia de 1.80m a 3.40m de materiales sueltos como bolonería, gravas, supra yaciendo a este estrato una capa de 9.03m de areniscas húmedas saturadas, y con una potencia de 20m se tiene tobas alteradas que se presenta en forma masiva y que aparentemente se profundiza.

9.8. CIMENTACIÓN DE LA PRESA HUAYLLUMAYO

La determinación de la capacidad portante del subsuelo se encuentra supeditada a tres variables esenciales: la profundidad de la cimentación, las propiedades geomecánicas del estrato portante y la tipología de fundación seleccionada.

Tabla 106

Aspectos clave para la cimentación

Aspecto	Conclusión
<i>Material competente más somero</i>	Ignimbrita soldada (toba) de buena a regular calidad aparece a $\approx 9,4$ m (DHPH-02) y $\approx 11,7$ m (DHPH-03). RMR 69-81 (Clase II "buena"), RQD 50-94 %.
<i>Capacidad admisible del macizo</i>	24 kg cm^{-2} (2,4 MPa) en DHPH-02 y 19 kg cm^{-2} (1,9 MPa) en DHPH-03 para el tramo rocoso profundo.
<i>Espesor de suelos flojos sobre roca</i>	10,6 m en DHPH-02 y 19 m en DHPH-03 de gravas, arenas y bolonería muy permeables.
<i>Asentamientos calculados</i>	$\leq 0,13$ cm para carga rígida (Schleicher, 1962) \Rightarrow deformaciones insignificantes al apoyar sobre ignimbrita.
<i>Permeabilidad del macizo</i>	$k \approx 10^{-4} - 10^{-5} \text{ cm s}^{-1}$ (casi impermeable); suelos aluviales superficiales: $k \approx 10^{-1} - 10^{-3} \text{ cm s}^{-1}$.

Fuente: Elaboración propia

Tipo de cimentación recomendado

De acuerdo a las evaluaciones geotécnicas de toda la presa, la cimentación superficial en roca es compatible con un dique de materiales sueltos (enrocado o CFRD) o con una presa de gravedad de concreto RCC, por las razones siguientes:

1. *Capacidad portante suficiente.* Los 1,9 - 2,4MPa admisibles superan holgadamente las presiones netas que transmite un dique zonado convencional (0,4 - 0,8 MPa) o una presa de gravedad RCC (< 1,2 MPa).

2. *Asentamientos despreciables.* Sobre ignimbrita; no se justifican pilotajes ni micropilotes.

3. *Macizo poco permeable.* Basta una cortina de lechada en el contacto roca-suelo y un tapón dental de concreto para obturar juntas y fracturas.

4. *Espesor moderado de grava suelta.* La excavación y retiro de los 10-19 m de depósitos fluviales es factible con voladura ligera y dragado en seco; evita consolidaciones diferidas y reduce filtración.

Tabla 107

Resumen numérico de la profundidad de cimentación propuesto

Parámetro clave	Valor recomendado
<i>Profundidad mínima hasta roca sana</i>	10 m (margen derecha) – 12 m (margen izquierda)
<i>Llave en roca</i>	3 – 5 m de profundización
<i>Capacidad admisible de diseño</i>	1,5 MPa (factor FS \geq 1,5 sobre P_{adm})
<i>Asentamiento esperado</i>	< 5 mm global
<i>Permeabilidad objetivo tras inyecciones</i>	$k \leq 1 \times 10^{-7} \text{ cm s}^{-1}$

Fuente: Elaboración propia

Síntesis

La excavación hasta la ignimbrita soldada, la ejecución de una llave de 3-5 m y una cortina de inyecciones sencilla proporcionan una cimentación económica y segura para la ampliación de la Presa Huayllumayo. Las elevadas capacidades portantes, los asentamientos elásticos despreciables y la baja permeabilidad del macizo respaldan la elección de una cimentación superficial anclada frente a alternativas más costosas (pilotajes). El control de la franja permeable puntual en DHPH-03 y la selección de enrocados con menor abrasión completan el paquete de medidas recomendadas.

CAPITULO X: EVALUACION DE FACTIBILIDAD

Demostrar, mediante criterios normativos, análisis numéricos y una comparación multicriterio, qué tipología de presa resulta más conveniente para la ampliación de la Presa Huayllumayo y qué tratamientos de terreno aseguran su estabilidad a lo largo de la vida útil.

10.1. Criterios técnicos y normativas de factibilidad

Esta sección establece los requisitos de seguridad y desempeño que toda alternativa de ampliación debe cumplir antes de declararse factible. Se formulan a partir de las normativas: (Reglamento Nacional de Edificaciones (RNE) – E.030 (sismo), E.050 (suelos) y EM.110 (presas)), y recomendaciones ICOLD Bulletins 148 (seepage), 154 (seismic), 172 (embankment zoning)

El procedimiento se organiza en siete ítems, cada uno con teoría, ecuaciones clave y un check list de aplicación a la presa Huayllumayo.

Tabla 108

Criterios técnicos y normativas de factibilidad

Norma / guía	Alcance	Rango de aplicación
RNE E.050 (2024)	Investigaciones de suelos y parámetros geotécnicos	Todos los sondeos, ensayos SPT/CPT, lab.
RNE E.030 (2024)	Peligro sísmico, espectro de diseño	Cálculo de CSR, pseudo-estático y Newmark
RNE EM.110 (Borrador)	Criterios de presas de materiales sueltos	Geometría, freeboard, filtros
ICOLD Bulletin 154	Diseño sísmico de presas de enrocado	Factores de seguridad dinámicos
ICOLD Bulletin 148	Control de filtraciones y drenaje	icalc, FSuPlift
ASCE 7-16	Coeficientes sismo-espectrales	Verificación licuefacción
USB R-EM 1110-2-1901	Estabilidad de taludes de presas	Métodos Bishop, Janbu, Spencer

Fuente: Elaboración propia

La presa se clasifica como Categoría II (altura 24.50 m, embalse 3–10 Mm³); se exige análisis sísmico de nivel “Operating Basis Earthquake – OBE” (Tr = 475 años) y “Maximum Considered Earthquake – MCE” (Tr = 2475 años).

Tabla 109

Factores de seguridad (FS) de referencia

Verificación	Fórmula / método	Estado límite	FS admisible
Talud estable	$FS = \Sigma R / \Sigma S$	Estático	≥ 1.50
	kh=0.26 g (pseudo)	Sísmico OBE	≥ 1.10
Piping (sub-erosión)	$ic = (Gs-1)/(1+e)$	Gradiente crítico	FS_piping ≥ 1.30
Levantamiento	$FS = (W + Pd)/u$	Base cimentación	≥ 1.20
Licuefacción	$FS = CRR / CSR$	Estratos susceptibles	≥ 1.00
Asentamiento diferencial	$\Delta S/L$	Coronamiento	$\leq 1/1000$

Fuente: Elaboración propia

10.2. Definición y desarrollo de alternativas de sección

A partir de los criterios pre selección indicados (uso de materiales locales, buen comportamiento sísmico, facilidad constructiva y O&M reducida), se desarrollan en detalle tres alternativas tipológicas.

Las cantidades se han desarrollado con la geometría base: altura 24.50 m, longitud de coronamiento 265 m, ancho de cresta 6 m y taludes indicados en cada sección. Los valores son de orden preliminar ($\pm 30\%$) y servirán para la evaluación económico comparativa.

10.2.1. Alternativa A – Presa de materiales sueltos zonificada con núcleo impermeable

Estructura con núcleo central de material fino impermeable (arcilla, limos), filtros y drenes de arena-grava para controlar gradientes y espaldones. Es flexible y tolera asentamientos; suele ser la opción más económica donde hay fuente cercana de finos. Zonificada con núcleo: Taludes 3H:1V (aguas arriba) y 2.5H:1V (aguas abajo).

Tabla 110

Cantidades preliminares de material - Alternativa A

Material	Volumen (m ³)	Unidad	Fuente
Núcleo arcilloso	52 750	m ³	Espesor 0.18 H, taludes 1:1
Filtro arena-grava	8 349	m ³	D15 ≤ 25 mm
Dren horizontal	974	m ³	Grava limpia
Espaldón enrocado (aguas arr.)	207 156	m ³	ρ = 2.1 t/m ³
Espaldón enrocado (aguas ab.)	207 156	m ³	ρ = 2.1 t/m ³
Rip-rap protección	10 266	m ³	D50 = 450 mm
Total, obras de tierra	486 653	m ³	

Fuente: Elaboración propia

Ventajas. Uso intensivo de materiales locales; alta deformabilidad compatible con sismo; filtración controlada por núcleo/filtros.

Riesgos. Asentamientos diferenciales; posible erosión interna

Mitigación: compactación controlada, instrumentación piezométrica, chimenea filtrante grado C

10.2.2. Alternativa B – CFRD (Presa de enrocado con cara de concreto)

Dos espaldones de enrocado conforman el macizo y la impermeabilidad la da una loseta de concreto en el paramento aguas arriba. Requiere abundante roca, desempeño sísmico muy bueno y tiempos de obra rápidos. Taludes 1.4H:1V; loseta de cara con espesor medio 0.45 m (0.30–0.60 m); transición/rip-rap 0.30 m

Tabla 111

Cantidades preliminares de material - Alternativa B

Material	Volumen / superficie	Unidad	Observaciones
Enrocada zona principal	249 919	m ³	Dmax = 600-1000 mm
Zona transición (T)	3 351	m ³	Dmax = 150-300 mm
Losa de hormigón	5 026	m ³	f'c = 28-35 MPa
Plinto hormigón armado	942	m ³	Ancho 3.0 m
Armadura total	505	t	losa + plinto
Pantalla de inyección	2 355	m	Taladros 157(2m), 15 m c/u
Rip-rap aguas abajo	3 351	m ³	D50 = 0.30-0.45 m
Total, hormigón	5 968	m ³	

Fuente: Elaboración propia

Ventajas. Plazos cortos; gran capacidad sísmica gracias a disipación en enrocado; bajo mantenimiento.

Riesgos. Asentamiento inicial del enrocado → fisuras losa; alta dependencia de calidad de sellado de juntas.

Mitigación: pre carga, control topográfico, plinto escalonado

10.2.3. Alternativa C – RCC (Presa de hormigón compactado con rodillo)

Macizo de hormigón de bajo slump colocado por capas y compactado con rodillos. Obra monolítica, alta durabilidad y buen control de filtraciones; demanda cemento/áridos y control térmico. Más rígida frente a la cimentación. Paramento aguas arriba vertical y aguas abajo 0.8H:1V (sección tipo “cuña” para 25 m)

Tabla 112

Cantidades preliminares de materiales - Alternativa C

Descripción	Cantidad	Unidad	Notas
Excavación cimienta	7 579	m ³	Prof. Media 1.0 m + keyway 2x15 m
Inyección consolidación	1 272	m	Rejilla 4m x 3 m
RCC	102 582	m ³	Densidad =2 350 kg/m ³
Hormigón convencional (cara + vertedero)	2 544	m ³	f'c 28-35 MPa
Acero de refuerzo	276	t	Galería + cara (100-120 kg/m ³)
Galería interna (excav.)	1 656	m ³	Sección 25x25
Drenes de galería	450	m	Ø 2"-3", separación 6m

Fuente: Elaboración propia

10.3. Aplicación del método AHP

El Proceso Analítico Jerárquico (AHP) de Saaty (1980) se aplicó para comparar las tres alternativas resultantes del estudio preliminar: A (CFRD), B (RCC) y C (Presa de materiales sueltos zonificada con núcleo impermeable) bajo cinco criterios (seguridad, filtración, constructibilidad, materiales, costos)

A continuación, se detalla el paso a paso:

1. Flujo trazable de decisión

Antes de ponderar, documentaremos los fatal flaws y evitaremos alternativas inviábiles y/o altamente riesgosas.

Tabla 113

Cribado (Go/No-Go) por condiciones del sitio

Condición del sitio (evidencia)	Implicación	Resultado
Cemento/logística limitada	RCC requiere planta continua y altos volúmenes de cemento	Penalizar RCC
Escasez de arcillas plásticas locales	Núcleo arcilloso zonificado exige núcleo + filtros	Penalizar zonificada
Valle angosto, abundante enrocado local, sismicidad alta	CFRD y RCC suelen ser eficientes	Favorecer CFRD/RCC
Fundaciones muy permeables con karst/fracturas extensas	Se requiere cortinas/zanjas profundas	Subir costo en cualquiera

Fuente: Elaboración propia

2. Criterios y métricas objetivas

Se vinculará cada criterio (wi) a un indicador o métrica medible bajo umbrales de referencia.

Tabla 114

Criterios y métricas objetivas

Criterio (Wi)	Métrica/indicador	Umbrales de referencia
Seguridad geotécnica y sísmica (S1)	$FS_{estático}$, $FS_{pseudoestático}$, $\Delta_{Newmark}$	≥ 1.5 ; ≥ 1.1 ; ≤ 10 cm
Control de filtraciones (S2)	K_{post} , caudal de filtración Q , gradiente i	$K_{post} \leq 1 \times 10^{-7}$ m/s
Constructibilidad (C1)	Ritmo m^3/mes , complejidad de QA/QC, clima	$\geq X$ m^3/mes ; riesgos manejables
Materiales locales (M1)	m^3 de enrocado, arcillas, arenas de filtro dentro de 5–10 km	$\geq 80\%$ del volumen requerido
Costos y plazo (K1)	CAPEX (S/), plazo (meses), OPEX	$B/C > 1.1$; plazo \leq meta

Fuente: Elaboración propia

3. Escala de puntuación por criterio

Se evaluará y definirá una rúbrica o alternativa por criterio.

- *Seguridad (S1)*: 5 si $FS_{est} \geq 1.7$, $FS_{pse} \geq 1.15$, $\Delta < 5\text{cm}$; 3 si cumple mínimos; 1 si roza límites.
- *Filtración (S2)*: 5 si $K_{post} < 1 \times 10^{-7}$ m/s y Q bajo con tratamiento estándar; 3 si cumple con tratamiento intensivo, 1 si queda > objetivo.
- *Constructibilidad (C1)*: 5 si ritmo > meta con bajo riesgo clima; 3 si se logra con mitigaciones; 1 si muy sensible a clima o cadena de suministro.
- *Materiales (M1)*: 5 si $\geq 90\%$ de volúmenes a ≤ 10 km; 3 si 60–90% o distancias 10–30 km; 1 si importaciones >30 km o calidad dudosa.
- *Costos y plazo (K1)*: 5 si CAPEX es bajo o medio y plazo corto; 3 si ambos son intermedios; 1 si CAPEX es alto y plazo crítico

4. Matriz de comparaciones por pares (escala Saaty 1–9)

Expresaremos cuánto más importante es el criterio i respecto al criterio j , usando la escala de Saaty.

$$A = \begin{bmatrix} 1 & 3 & 3 & 3 & 2 \\ \frac{1}{3} & 1 & 1 & 1 & \frac{1}{2} \\ \frac{1}{3} & 1 & 1 & 1 & \frac{1}{2} \\ \frac{1}{3} & 1 & 1 & 1 & \frac{1}{2} \\ \frac{1}{2} & 2 & 2 & 2 & 1 \end{bmatrix}$$

Justificación:

S1 es moderadamente más importante que S2/C1/M1 y ligeramente moderadamente sobre K1. K1 es moderadamente más importante que S2/C1/M1. S2, C1 y M1 se consideran iguales entre sí.

Vector de pesos W

$$W = \begin{bmatrix} 0.3945 \\ 0.1237 \\ 0.1237 \\ 0.1237 \\ 0.2343 \end{bmatrix} \quad \begin{array}{l} S1 = 0.3945 \\ S2 = 0.1237 \\ C1 = 0.1237 \\ M1 = 0.137 \\ K1 = 0.2343 \end{array}$$

Donde:

$$*\lambda_{\max}=5.00996,$$

$$*CI = \lambda_{\max} - n/n-1 = 0.00249,$$

$$*\text{para } n = 5, RI = 1.12(\text{Saaty})$$

$$*CR = CI / RI = 0.00222 < 0.10$$

5. Puntaje ponderado y Ranking

Usando la escala de Saaty se calculó el índice ponderado de cada alternativa de Presa con los pesos y puntajes obtenidos.

Tabla 115

Puntajes obtenidos de cada alternativa de presa

Criterio	CFRD	RCC	Zonificada
S1	0.40	4.0	3.5
S2	0.45	5.0	4.0
C1	4.0	3.0	3.5
M1	5.0	3.0	3.0
K1	4.0	3.0	4.0

Contribución por criterio (peso × score/5)

Alternativa	S1	S2	C1	M1	K1	Índice
CFRD	0.3156	0.11133	0.09896	0.12370	0.18744	0.837
RCC	0.3156	0.12370	0.07422	0.07422	0.16401	0.752
Zonificada	0.27615	0.09896	0.08659	0.07422	0.18744	0.723

Fuente: Elaboración propia

Resultado:

Con los indicadores obtenidos, la alternativa CFRD alcanzó $I = 0.837$, superando a RCC ($I = 0.752$) y a Zonificada ($I = 0.723$). El análisis de sensibilidad (variación de pesos $\pm 20\%$) mantuvo a CFRD como opción preferente en los escenarios 'seguridad priorizada' y 'costo-plazo priorizado'. Por tanto, CFRD se recomienda como tipología óptima, condicionada a la ejecución de cortina de inyecciones en cemento y control de juntas del plinto/cara para asegurar $K_{post} \leq 1 \times 10^{-7}$ m/s y $\Delta \leq 10$ cm bajo el sismo de diseño.

Motivos clave:

1. Seguridad sísmica flexible frente a asentamientos (criterio más pesado).
2. Disponibilidad de enrocada in situ que reduce costos y emisiones de transporte.
3. Huella ambiental y social menor aguas abajo.

Tabla 116

Fundamentos técnicos que sustentan la elección

Criterio	Condición del sitio	Incidencia sobre la selección
Fundación	Ignimbrita soldada “buena–regular”, RMR \approx 67-71, $\sigma^c \approx$ 16-19 MPa; capacidad admisible 1.9–2.4 MPa y asientos < 0.15 cm	Cimentación superficial anclada en roca es suficiente; no se requiere presa pesada para movilizar la capacidad disponible.
Permeabilidad	$k \approx 10^{-5}$ – 10^{-4} cm/s en la roca; un lente local con $k \approx 10^{-2}$ cm/s en margen izquierda	Una losa de concreto (plinth + face) y cortina de lechadas sellan eficazmente la filtración sin depender de arcillas locales escasas.
Materiales disponibles	Volumen abundante de enrocado (ignimbrita, bolonería) y gravas; Los Ángeles 44% (aceptable con selección/mezcla)	Permite construir el cuerpo de enrocado in situ, minimizando transporte de hormigón y costos.
Sismicidad	Zona andina con PGA de \approx 0.45 g	Las CFRD han mostrado excelente desempeño sísmico: cuerpo flexible, cara monolítica que admite deformaciones sin colapso.
Geometría del valle	Ancho entre márgenes \approx 275 m; perfil en “U” moderado, no estrecho	Desfavorable para una presa arco; exige grandes volúmenes si se opta por gravedad de hormigón. Un enrocado encaja bien.
Altitud \approx 4040 m.s.n.m.	Temperaturas bajas, heladas nocturnas	El curado masivo de hormigón RCC se complica; el enrocado con cara de 0.30-0.35 m de espesor de concreto convencional evita grandes bloques RCC y problemas térmicos.

Fuente: Elaboración propia

CAPITULO XI ESTUDIO DE CANTERAS

La investigación de canteras permite la ubicación, identificación y clasificación de materiales prestados que se utilizarán en la formación de estructuras de presas. El propósito de definir un banco de material crediticio es identificar una cantidad alcanzable y utilizable que satisfaga las necesidades de la estructura de la presa y cumpla con las especificaciones técnicas requeridas.

Se ha realizado la investigación de tres sectores de cantera, dos en formaciones rocosas para el enrocado de acuerdo a la tipología de la presa, y uno de material agregado que de acuerdo al uso y tipología de la presa se le dé el uso adecuado.

11.1. Cantera de Agregados

a. Cantera Huayllumayo

La cantera de agregados corresponde a la deposición de materiales recientes de origen fluvio-aluvial, compuesto por materiales sueltos, de gran extensión en la zona de cause de río.

Los materiales están conformados por bolonería y grava con arena, bolones de roca andesita de tamaño máximo 12", gravas de tamaño máximo 2½", gris claro, con fragmentos redondeados a subredondeados, bien graduados, polimíctico, la arena es gruesa, medianamente graduada, polimíctico, húmeda.

Fotografía 8

Vista panorámica de la cantera de agregados Huayllumayo



11.2. Cantera de roca

a. Cantera Huayllumayo

La cantera está compuesta por rocas que corresponden al complejo volcánico Caldera - Caylloma, de origen vulcano sedimentario, ignimbritas de color gris claro a gris rosáceo, de porosidad media a alta, se presenta en forma masiva en toda el área circundante de la presa Huayllumayo.

Fotografía 9

Vista frontal de la cantera de roca Huayllumayo



b. Cantera Alto Huayllacollana

La cantera corresponde a la formación Tacaza que corresponde a una roca de denominación Traquibasalto de color gris negruzco, textura masiva con diseminación de plagioclasas, se estima una resistencia de entre 100 a 150 Mpa.

Fotografía 10

Vista panorámica de la cantera de roca Alto Huayllacollana



11.3. Ensayos de Laboratorio

Para el desarrollo de los ensayos de laboratorio se realiza en función del Manual de Ensayos de Laboratorio (2016) del Ministerios de Transportes y comunicaciones aprobadas bajo Resolución Directoral N°18-2016-MTC/14.

Los trabajos de laboratorio permiten evaluar las propiedades de los materiales mediante ensayos físicos mecánicos y químicos. Las muestras disturbadas de suelo, provenientes de cada una de las canteras serán sometidas a ensayos de acuerdo al Manual de Ensayos de Materiales para Carreteras del MTC (EM - 2000) ó de la American Society of Testing and Materials (ASTM), así mismo en forma alternativa se podrán efectuar de acuerdo a las Normas Técnicas Peruanas (NTP) y a las AASHTO.

Para la interpretación y aceptación de los resultados se realizan en base al Manual de Carreteras -Suelo, Geología, Geotecnia y Pavimentos del Ministerios de Transportes y comunicaciones aprobado bajo Resolución Directoral N°10-2014-MTC/14.

a. Muestreo de Agregados y Roca

Se realizaron, los siguientes muestreos para caracterizar las canteras:

Tabla 117

Coordenadas UTM de las canteras de tipo agregado y roca

Ítem	Este	Norte	Cota	Código	Tipo	Cantera
1	236533	8350734	3997	MCH – 01A	Agregado	Huayllumayo
2	236178	8349407	4050	MREI – 01	Roca	Huayllumayo
3	234921	8343441	4210	MRCH – 01	Roca	Alto Huayllacollana

Fuente: Elaboración propia

b. Ensayos realizados

Para la cantera de agregado se realizaron diferentes ensayos en laboratorio los cuales se detallan a continuación:

Tabla 118

Ensayos de laboratorio realizados a las canteras de agregado

Nombre del Ensayo	Uso	Ensayo ASTM	Propósito de Ensayo
Análisis granulométrico por tamizado	Clasificación	D 422	Para determinar la distribución del tamaño de partículas del suelo
Contenido de Humedad	Clasificación	D2216	Para determinar el contenido de humedad natural de suelos y agregados
Material que pasa Malla N°200	Clasificación	C 117	Determinar la cantidad de material fino que pasa por el tamiz N°200 tales como arcillas, agregados muy finos y materiales solubles en el agua.
Peso Unitario	Clasificación	C 29	Determinar el peso unitario suelto o compacto y el porcentaje de vacío de los agregados.
Peso Específico y Absorción – agregado Grueso	Clasificación	C 127	Determinar los pesos específicos aparente y nominal de agregados con tamaño igual o mayor a 4.75 mm.
Peso Específico y Absorción – agregado Fino	Clasificación	C 128	Determinar el peso específico aparente y real a 23°C de los agregados con tamaño interior a 4.75 mm.
Ensayo de Abrasión los ángeles	Clasificación	ASTM C-131	Determinar la durabilidad de los agregados
Ensayo de durabilidad	Clasificación	(MTC E 209)	Muestra la resistencia a elementos químicos

Fuente: Elaboración propia

Para las canteras de roca, se realizaron ensayo de Abrasión Los Ángeles y durabilidad sulfato de sodio y magnesio.

Tabla 119

Ensayos de laboratorio realizados a las canteras de roca

Nombre del Ensayo	Ensayo ASTM	Propósito de Ensayo
Durabilidad sulfato de sodio y magnesio	ASTM C-88	Evaluar la resistencia de los agregados (como la arena y la grava) a la desintegración causada por la exposición a condiciones climáticas severas.
Abrasión Los Ángeles	ASTM C 131-06	Determinar la resistencia de los agregados gruesos al desgaste por una combinación de: Abrasión, Impacto, Trituración.

Fuente: Elaboración propia

11.4. Resultados de laboratorio

Se presenta a continuación el cuadro resumen de los resultados de los diferentes ensayos realizados en laboratorio de las muestras obtenidas in situ (cantera Huayllumayo y Alto Huayllacollana).

Tabla 120

Ensayos realizados a la cantera de agregados Huayllumayo

Código	Ensayo	Norma	Resultados	Clasificación SUCS	Clasificación AASHTO
MCH - 01 - A	Granulometría	ASTM D-422	GP	GP	A-1-a
	Limite Líquido	ASTM D-4318	N.P.		
	Limite Plástico		N.P.		
	Contenido de Humedad	ASTM D-2216	5.96%		
	Gravedad Específica	ASTM C-127	2.66 g/cm ³		
	Absorción		3.07%		
	Abrasión Los Ángeles	ASTM C-131	24.3%		
	Partículas Chatas Y Alargadas	ASTM D-4791	8.6%		
	Caras Fracturadas (Con una cara)	ASTM D-5821	68.9%		
	Caras Fracturadas (Con más de dos caras)		53.4%		
	Equivalente de Arena	ASTM D-2419	72%		
	Durabilidad de Agregados	(MTC E 209)	5.43%		

Tabla 121

Ensayos realizados a la cantera de roca Alta Huayllacollana

Código	Ubicación	Tipo de cantera	Ensayo	Norma	Resultados
MRCH – 01	Alto Huayllacollana	Roca	Ensayo de durabilidad	ASTM C-88	7.46%
			Abrasión Los Ángeles	ASTM C 131 – 06	17.81%

Tabla 122

Ensayos realizados a la cantera de roca Huayllumayo

Código	Ubicación	Tipo de cantera	Ensayo	Norma	Resultados
MREI – 01	Huayllumayo	Roca	Ensayo de durabilidad	ASTM C-88	9.7%
			Abrasión Los Ángeles	ASTM C 131 – 06	45.6%

CONCLUSIONES

1. La ampliación de la Presa Huayllumayo en el nuevo eje propuesto resulta técnicamente factible y segura porque el sitio presenta una fundación competente, con capacidad portante admisible del orden de 1.9–2.4 MPa y deformaciones esperadas reducidas; sin embargo, la seguridad está condicionada por el patrón de discontinuidades del macizo (familias dominantes y buzamientos altos) que puede generar mecanismos locales de inestabilidad (planar, cuñas y volteo) y por la permeabilidad asociada al fracturamiento y contactos roca–depósitos.
2. Con el levantamiento estructural realizado en seis estaciones geomecánicas y el análisis mediante estereonet y diagrama de rosas, se identificó la presencia de dos o más familias de discontinuidades dominantes con tendencias preferentes hacia el cuadrante sureste ($\sim 120\text{--}160^\circ$) y noroeste ($\sim 300\text{--}310^\circ$), predominando buzamientos altos ($\approx 70\text{--}88^\circ$) y, en menor proporción buzamientos bajos ($< 30^\circ$). La cinemática de discontinuidades respecto a los taludes evaluados evidencia mecanismos potenciales de inestabilidad tipo planar, cuñas y volteo en estribos, cuyo desarrollo depende de la orientación de corte y de la condición hidráulica del macizo (saturación y presión de poros). En síntesis, la geología estructural condiciona el trazado del nuevo eje y la fundación al definir zonas donde el macizo presenta mayor fracturamiento y permeabilidad, requiriéndose control de taludes, drenaje y tratamientos de

cimentación (sellos e inyecciones) para asegurar desempeño estable y control de filtraciones.

3. Los parámetros geotécnicos obtenidos confirman una fundación competente en roca, con capacidad portante buena (en cauce $\approx 18,9$ MPa y estribos $\approx 26,38$ MPa) y asentamientos poco significativos. La evaluación geotécnica muestra capacidad portante admisible del orden de 1.9–2.4 MPa, superior a las tensiones típicas transmitidas por un dique de materiales sueltos (≈ 0.4 – 0.8 MPa) y compatible con una presa tipo CFRD ($< \approx 1.2$ MPa).
4. La factibilidad técnica y la selección de tipología favorecen la alternativa CFRD como la opción más conveniente. En el análisis multicriterio (AHP), la alternativa CFRD obtiene el mejor desempeño global ($I \approx 0.837$) frente a RCC ($I \approx 0.752$) y presa zonificada ($I \approx 0.723$), debido a su mayor ponderación en seguridad y su respuesta favorable ante deformaciones sísmicas, además de la viabilidad constructiva con materiales disponibles. En consecuencia, la seguridad sísmica del proyecto se sustenta en (i) un parámetro sísmico consistente para diseño y (ii) una tipología y detalle constructivo capaces de tolerar deformaciones controladas sin pérdida de estanqueidad.
5. La seguridad hidráulica (filtraciones) y el desempeño hidráulico-estructural se controlan con tratamientos de terreno concretos y económicamente viables. Se concluye excavar hasta roca competente (≈ 12 m en margen derecha y ≈ 14 m en margen izquierda), ejecutar llave (cutoff key) de 3 a 5 m y una cortina de inyecciones en el contacto roca–suelo, nos dan una cimentación segura y económica.

RECOMENDACIONES

1. Considerando que el patrón de discontinuidades evaluado en estaciones geomecánicas puede activar mecanismos locales de falla (planar, cuñas y volteo) bajo condiciones desfavorables, se recomienda incorporar en el diseño del proyecto un conjunto de medidas de control: (i) definición de geometrías de corte que minimicen la condición "día-luz" de discontinuidades, (ii) banqueo/bermas en taludes de mayor altura para interrumpir continuidad de planos potenciales, y (iii) drenaje superficial y subsuperficial para reducir presiones intersticiales. En zonas puntuales con mayor susceptibilidad, se recomienda evaluar refuerzos localizados (pernos/anclajes, malla o revestimiento proyectado), sustentados mediante verificación de factores de seguridad en condición estática y pseudoestática.
2. Se recomienda establecer un sistema de instrumentación mínimo para control de desempeño durante construcción y operación, incluyendo: piezómetros (fundación y estribos), control de caudales de filtración (puntos de aforo), monitoreo de asentamientos y deformaciones (placas, lecturas topográficas y/o inclinometría donde corresponda) y seguimiento del comportamiento del contacto estructural (especialmente en soluciones tipo CFRD: plinto, juntas y transición). De forma complementaria, se recomienda definir umbrales de alerta para variables críticas (presión intersticial, caudal, deformación) y un protocolo de intervención para garantizar respuesta oportuna ante desviaciones.
3. Se recomienda seleccionar la cantera principal de enrocado considerando criterios de durabilidad y resistencia, priorizando aquella fuente con desempeño

más favorable en ensayos. En caso de utilizar fuentes con resultados menos convenientes, se recomienda restringir su aplicación a zonas no críticas o aplicar procesos de selección/mezcla, complementados con un plan de control de calidad (granulometría, contenido de finos, porcentaje de partículas fracturadas, equivalencia de arena y durabilidad), garantizando que el material cumpla requisitos de estabilidad, drenaje interno y resistencia a degradación.

BIBLIOGRAFIA

American Society of Civil Engineers. (2017). *Minimum design loads and associated criteria for buildings and other structures (ASCE/SEI 7-16)*. American Society of Civil Engineers.

Autoridad Nacional del Agua (ANA). (2018). *Reglamento para la seguridad de presas* (Resolución Jefatural N.º 272-2018-ANA).

ASTM International. (s. f.). *ASTM C88/C88M: Standard test method for soundness of aggregates by use of sodium sulfate or magnesium sulfate*. ASTM International.

ASTM International. (2006). *ASTM C131/C131M-06: Standard test method for resistance to degradation of small-size coarse aggregate by abrasion and impact in the Los Angeles machine*. ASTM International.

ASTM International. (s. f.). *ASTM C127: Standard test method for relative density (specific gravity) and absorption of coarse aggregate*. ASTM International.

ASTM International. (s. f.). *ASTM D2216: Standard test methods for laboratory determination of water (moisture) content of soil and rock by mass*. ASTM International.

ASTM International. (s. f.). *ASTM D2419: Standard test method for sand equivalent value of soils and fine aggregate*. ASTM International.

ASTM International. (s. f.). *ASTM D4318: Standard test methods for liquid limit, plastic limit, and plasticity index of soils*. ASTM International.

ASTM International. (s. f.). *ASTM D4791: Standard test method for flat particles, elongated particles, or flat and elongated particles in coarse aggregate*. ASTM International.

ASTM International. (s. f.). *ASTM D5821: Standard test method for determining the percentage of fractured particles in coarse aggregate*. ASTM International.

Blair, T. C., & McPherson, J. G. (1994). Alluvial fan processes and forms. *Geomorphology*, 11(1), 1–22.

Benn, D. I., & Evans, D. J. A. (2014). *Glaciers and glaciation* (2nd ed.). Routledge.

Bieniawski, Z. T. (1973). Engineering classification of jointed rock masses. *Transactions of the South African Institution of Civil Engineers*, 15, 335–344.

Bieniawski, Z. T. (1989). *Engineering rock mass classifications: A complete manual for engineers and geologists in mining, civil, and petroleum engineering*. Wiley.

Cáceres y Lipa (2021). *Estudio Geológico - Geotécnico de factibilidad para la construcción de la presa Prado Esperanza, Distrito Pallpata, Provincia de Espinar Departamento de Cusco*. (Tesis de grado, Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco)

Clapperton, C. M. (1993). *Quaternary geology and geomorphology of South America*. Elsevier.

Costa, J. E. (1984). Physical geomorphology of debris flows. En J. E. Costa & P. J. Fleisher (Eds.), *Developments and applications of geomorphology* (pp. 268–317). Springer.

Cruden, D. M., & Varnes, D. J. (1996). Landslide types and processes. En A. K. Turner & R. L. Schuster (Eds.), *Landslides: Investigation and mitigation* (Special Report 247, pp. 36–75). Transportation Research Board.

De la Cruz Bustamante, N. S. (1995). *Geología de los cuadrángulos de Velille, Yauri, Ayaviri y Azángaro, Hojas 30-s, 30-t, 30-u y 30-v* (Boletín Serie A, N.º 58). Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico (INGEMMET).

Gamarra, C. (2009). *Nuevas fuentes sismogénicas para la evaluación del peligro sísmico y generación de espectros de peligro uniforme en el Perú* (Tesis de grado, Universidad Nacional de Ingeniería).

González y Mendoza (2019) *Estudio geológico y geotécnico para el diseño de Embalse Catemu, Región de Valparaíso, Chile*. (Tesis de grado, Universidad de Concepción)

Gutenberg, B., & Richter, C. F. (1954). *Seismicity of the Earth and associated phenomena* (2.^a ed.). Princeton University Press.

Gutiérrez Elorza, M. (2008). Geomorfología. Pearson.

Hoek, E., & Brown, E. T. (1980). Empirical strength criterion for rock masses. *Journal of the Geotechnical Engineering Division (ASCE)*, 106(GT9), 1013–1035.

Huamán y Baca (2020). *Evaluación Geológico - Geotécnica para la construcción de la presa Huathua laguna, distrito de Quiquijana, provincia de Quispicanchis, departamento de Cusco*. (Tesis de grado, Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco)

Hungr, O., Leroueil, S., & Picarelli, L. (2014). The Varnes classification of landslide types, an update. *Landslides*, 11, 167–194.

Instituto Geofísico del Perú (IGP). (2015). *Mapa de peligro sísmico del Perú 2015 (versión preliminar)*. IGP.

Instituto Nacional de Defensa de la Competencia y de la Protección de la Propiedad Intelectual (INDECOPI) / Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento. (s. f.). *Reglamento Nacional de Edificaciones (RNE): Norma E.030 Diseño Sismorresistente*. (Usar la versión oficial vigente).

Instituto Nacional de Defensa de la Competencia y de la Protección de la Propiedad Intelectual (INDECOPI) / Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento. (s. f.). *Reglamento Nacional de Edificaciones (RNE): Norma E.050 Suelos y Cimentaciones*.

International Commission on Large Dams (ICOLD). (2005). *Operational phase of the dam life cycle* (Bulletin 154). ICOLD.

International Commission on Large Dams (ICOLD). (2016). *Selecting seismic parameters for large dams: Guidelines* (Bulletin 148). ICOLD.

International Commission on Large Dams (ICOLD). (2016). *Technical advancements in spillway design—Progress and innovations from 1985 to 2015* (Bulletin 172). ICOLD.

International Society for Rock Mechanics (ISRM). (1981). *Suggested methods for the rock characterization, testing and monitoring*. Pergamon Press.

Jenks, W. F. (1948). Geología de la hoja de Arequipa (Boletín N.º 9). Instituto Geológico del Perú.

Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC). (2016). *Manual de ensayo de materiales* (Edición mayo 2016; RD N.º 18-2016-MTC/14). MTC.

Neyra (2019). *Estudio Geológico - Geotécnico y Mecánica de Suelos para la construcción del puente Malvas – Malvitas, distrito de Suyo – provincia de Ayabaca – departamento de Piura*. (Tesis de grado, Universidad Nacional de Piura)

Ordaz, M., Aguilar, A., & Arboleda, J. (1999). *CRISIS99: Program for computing seismic hazard*. Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM).

Pinedo (2019). *Estudio Geológico – Geotécnico para la reubicación de la línea de descarga norte de la mina Antamina, distrito de San Marcos, provincia de Huari, departamento de Ancash*. (Tesis de grado, Universidad Nacional de Piura)

Prado y Velásquez, (2015). *Estudio geológico - geotécnico para la construcción de la presa Quillca, alto Pichigua - Espinar, Cusco*. (Tesis de grado, Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco)

Saaty, T. L. (1980). *The analytic hierarchy process*. McGraw-Hill.

Sadigh, K., Chang, C.-Y., Egan, J. A., Makdisi, F., & Youngs, R. R. (1997). Attenuation relationships for shallow crustal earthquakes based on California strong motion data. *Seismological Research Letters*, 68(1), 180–189.

Serrano, A., & Olalla, C. (1996). Allowable bearing capacity of rock foundations using a non-linear failure criterion. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences & Geomechanics Abstracts*, 33(4), 327–345.

Serrano, A., Olalla, C., & González, J. (2000). Ultimate bearing capacity of rock masses based on the modified Hoek–Brown criterion. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, 37(7), 1013–1018.

Varnes, D. J. (1978). Slope movement types and processes. En *Landslides: Analysis and control* (Special Report 176). Transportation Research Board.

Working Party of the Engineering Group of the Geological Society of London. (1970). The description of rock masses for engineering purposes. *Quarterly Journal of Engineering Geology*, 3(1), 355–388.

Youngs, R. R., Chiou, S.-J., Silva, W. J., & Humphrey, J. R. (1997). Strong ground motion attenuation relationships for subduction zone earthquakes. *Seismological Research Letters*, 68(1), 58–73.

ANEXOS

ANEXO A: MATRIZ DE CONSISTENCIA

ANEXO B: LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS (CALICATAS)

ANEXO C: ESTACIONES GEOMECANICAS

ANEXO D: ENSAYOS DE PERFMEABILIDAD (LEFRANC Y LUGEON)

ANEXO E: SECCIONES Y MAPAS

ANEXO A

MATRIZ DE

CONSISTENCIA

"EVALUACION GEOLÓGICA-GEOTÉCNICA DE FACTIBILIDAD PARA LA AMPLIACION DE LA PRESA HUAYLLUMAYO MEDIANTE LA CONSTRUCCION DE UN NUEVO EJE DE PRESA, DISTRITO Y PROVINCIA DE ESPINAR, DEPARTAMENTO DE CUSCO-2024"

MATRIZ DE CONSISTENCIA

"EVALUACION GEOLÓGICA-GEOTÉCNICA DE FACTIBILIDAD PARA LA AMPLIACION DE LA PRESA HUAYLLUMAYO MEDIANTE LA CONSTRUCCION DE UN NUEVO EJE DE PRESA, DISTRITO Y PROVINCIA DE ESPINAR, DEPARTAMENTO DE CUSCO-2024"

DESCRIPCION DEL PROBLEMA	FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPOTESIS	JUSTIFICACION	VARIABLE DEPENDIENTE	VARIABLE INDEPENDIENTE	DIMENSIONES	INDICADORES		
<p>La actual capacidad de la presa Huayllumayo (148 000 000 m3) es insuficiente para satisfacer la creciente demanda de agua potable y las necesidades agrícolas en todo el abanico de Espinar. La presa es una de las principales fuentes de agua para la Planta de Tratamiento de Agua Potable Virgen de Chapi, además que abastece tanto a la población urbana como a las zonas agrícolas de las comunidades como Hatun Ayracollana, Oquebamba y Pumahuasi (aguas abajo).</p> <p>Ante este escenario, se ha proyectado la ampliación de la presa, que no solo busca aumentar el almacenamiento útil y confiabilidad hidráulica sin comprometer la estabilidad ni la integridad ambiental, sino también redes de distribución y sistemas de alcantarillado denominándola "la nueva Huayllumayo". Para asegurar continuidad del servicio, y una operación más eficiente, se propone ampliar la infraestructura mediante la construcción de un nuevo eje de presa ubicado en las coordenadas:</p> <p>Vértice Izquierdo: 235937.33 E – 8349627.69 N Vértice Derecho: 236097.68 E – 8349416.71 N</p> <p>Con una longitud de coronamiento de 265 m y una altura de 24.50 m, la propuesta de ampliación de la presa implica no solo una modificación estructural de la infraestructura existente, sino también una intervención directa sobre el entorno geológico-geotécnico que condiciona su estabilidad y seguridad. Esta decisión demanda la verificación, mediante información actualizada del sitio, de aspectos como la geología, geotecnia, hidrología, hidrogeología, geofísica y peligro sísmico local.</p> <p>Se cuenta con antecedentes tanto de la presa actualmente construida como del proyecto que plantea su futura ampliación. Asimismo, existe un estudio previo que, por su antigüedad, presenta información incompleta o desactualizada que requiere ser revisada y corregida. Abordar estas limitaciones resulta esencial para garantizar que, en la ampliación de la presa mediante la ejecución de un nuevo eje, se minimicen los riesgos constructivos y operativos. De esta manera, se asegura no solo la viabilidad técnica y económica del proyecto, sino también la seguridad de las comunidades que dependen de la infraestructura y la sostenibilidad de los recursos hídricos a largo plazo</p>	<p>PROBLEMA GENERAL ¿Cómo influyen las características geológicas y geotécnicas del sitio en el nuevo eje propuesto en la factibilidad técnica y la seguridad de ampliación de la Presa Huayllumayo?</p> <p>PROBLEMAS ESPECIFICOS</p> <ul style="list-style-type: none"> • ¿Cuáles son las características geológicas y estructurales del área de emplazamiento del nuevo eje y cómo condicionan la fundación y el emplazamiento de la presa? • ¿Cuáles son los parámetros geotécnicos clave de los estratos del subsuelo y en qué medida cumplen los criterios de estabilidad requeridos para la ampliación de la presa? • ¿Qué tipo de presa nos ayudara a determinar utilizando el método de análisis multicriterio de evaluación de Saaty? • ¿Qué tratamientos geotécnicos son necesarios para controlar filtración y garantizar los factores de seguridad exigidos por RNE-E050/E030? 	<p>OBJETIVO GENERAL Evaluar cómo las características geológicas y geotécnicas del sitio en el nuevo eje propuesto condicionan la factibilidad técnica y la seguridad de la ampliación de la Presa Huayllumayo.</p> <p>OBJETIVOS ESPECIFICOS</p> <ul style="list-style-type: none"> • Caracterizar el medio geológico - estructural del área de emplazamiento (litologías, discontinuidades) y establecer su influencia en la fundación y el trazado del eje. • Determinar los parámetros geotécnicos clave del subsuelo (ángulo de fricción ϕ, cohesión c, módulo de elasticidad E, permeabilidad k, densidad γ) mediante investigación de campo y ensayos de laboratorio. • Comparar las alternativas de tipología aplicando análisis multicriterio costo-beneficio y de seguridad, seleccionando la opción óptima $I > 1,1$ y cumplimiento de factores de seguridad. • Proponer y dimensionar los tratamientos geotécnicos que controlen filtraciones y aseguren desempeño hidráulico-estructural 	<p>HIPOTESIS GENERAL Las características geológicas y geotécnicas del nuevo eje sí permiten diseñar la ampliación de la Presa Huayllumayo cumpliendo los criterios de factibilidad técnica y seguridad que satisfacen la RNE-E050/E030 e ICOLD.</p> <p>HIPOTESIS ESPECIFICOS</p> <ul style="list-style-type: none"> • Las características geológicas y estructurales del área del nuevo eje condicionan la fundación y el emplazamiento de la presa de forma favorable. • Los parámetros geotécnicos clave de los estratos del subsuelo (ϕ, c, E, k y γ) se ubican en rangos que, con los tratamientos de fundación y control de filtraciones propuestos, permiten cumplir los criterios de estabilidad para la ampliación de la presa. • Realizando la evaluación de análisis multicriterio de evaluación de Saaty propondremos la mejora alternativa de presa. • Los tratamientos geotécnicos estarán en función a los parámetros mínimos que deben cumplir según la normativa E030/E050 e ICOLD 	<p>Valor teórico Esta investigación aporta al cuerpo de conocimiento científico-técnico en el campo de la ingeniería geológica, específicamente en el ámbito del análisis geotécnico para obras hidráulicas. La recopilación, interpretación y modelado de datos geológicos y geotécnicos en el contexto, permitirá ampliar las bases comparativas con otros proyectos similares a nivel regional y nacional, generando un marco de referencia útil para futuras investigaciones.</p> <p>Valor Social La construcción de esta presa tiene un impacto directo en la calidad de vida de las poblaciones aledañas, al asegurar una fuente confiable de agua para el riego agrícola. Esto puede traducirse en un incremento significativo de la productividad agraria, generando mejores condiciones económicas y alimentarias para las comunidades locales.</p> <p>Implicancias prácticas El estudio radica en la prevención de riesgos geotécnicos, tales como asentamientos diferenciales, filtraciones o fallas estructurales, que podrían comprometer la integridad de la presa. La información obtenida permitirá tomar decisiones fundamentadas en la fase de diseño e implementación, optimizando costos, tiempos de ejecución y recursos constructivos, y asegurando que la infraestructura se desarrolle de manera segura y eficiente.</p> <p>Conveniencia Este estudio se justifica plenamente ya que responde a una necesidad concreta del desarrollo regional sostenible, integrando el aprovechamiento racional del recurso hídrico con la seguridad geotécnica de la infraestructura. Su realización facilitará la toma de decisiones fundamentadas y contribuirá al éxito del proyecto a mediano y largo plazo.</p>	<p align="center">FACTIBILIDAD GEOLOGICA-GEOTECNICA PARA LA AMPLIACION DE LA PRESA HUAYLLUMAYO</p>	GEOLOGIA	Caracterización litológica Condiciones geomorfológicas	Litología Geomorfología		
	GEOTECNIA	Propiedades índice Propiedades mecánicas	Granulometría, Límites de Atterberg Cohesion, ángulo de fricción							
	HIDROLOGIA	Régimen hídrico Comportamiento del embalse	Precipitación, Escorrentia, caudales Niveles máximos							
	HIDROGEOLOGIA	Balance Hídrico Permeabilidad	Escorrentia, Recarga Ensayos de Permeabilidad							
	GEODINAMICA	Geodinamica interna Geodinamica externa	Peligro Sísmico Caída de rocas							
	GEOFISICA	Velocidad de ondas Parametros elásticos	Vs30, Vp Modulo Poisson, Young							
	PELIGRO SISMICO LOCAL	Peligro sísmico probabilístico Fuentes sismogénicas	PGA Distancia a fallas activas							
	CRONOGRAMA									
	FASES Y ACTIVIDADES	2024								
		FEBRERO	MARZO	ABRIL		MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE
Precampo										
Campo 1										
Gabinete 1										
Campo 2										
Gabinete 2										

ANEXO B

LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS (CALICATAS)



GEOINTEC J&H CONSULTORES S.AC.

LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y MATERIALES. CONTROL DE CALIDAD Y ASISTENCIA TÉCNICA.

-ESTUDIO DE INGENIERÍA, CONSULTORÍA, SUPERVISIÓN Y EJECUCIÓN DE OBRAS CIVILES

URB. PATA PATA LIRCAY A-435, SAN JERONIMO-CUSCO-PERÚ

CEL: 964200692

DEPARTAMENTO DE GEOTECNIA

Proyecto: "EVALUACION GEOLÓGICA-GEOTÉCNICA DE FACTIBILIDAD PARA LA AMPLIACION DE LA PRESA HUAYLLUMAYO MEDIANTE LA CONSTRUCCION DE UN NUEVO EJE DE PRESA, DISTRITO Y PROVINCIA DE ESPINAR, DEPARTAMENTO DE CUSCO-2024"

Ubicación: HUAYLLUMAYO - ESPINAR

Solicita: BCH. ANGEL MOLLEHUANCA PABLO, BCH. JESUS QUISPE CARDENAS

Fecha Recepción: CUSCO, AGOSTO DEL 2024

Finalidad: EMS

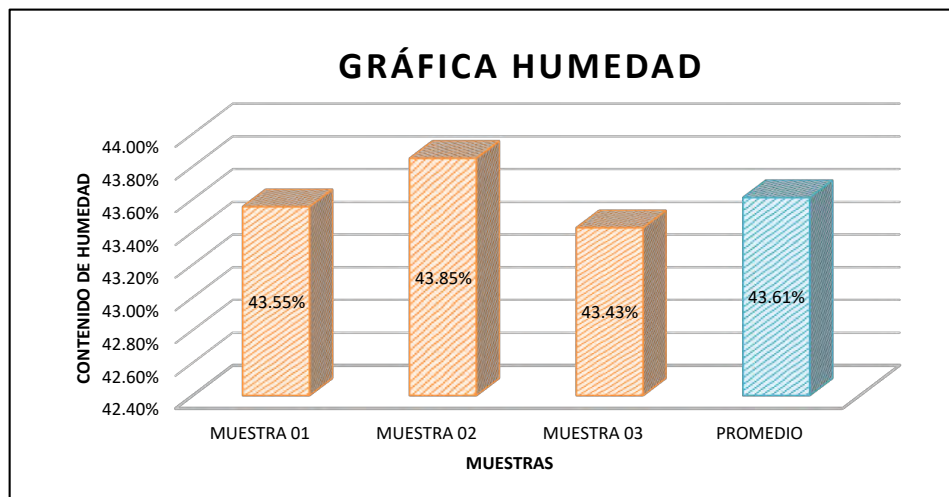
Datos Muestra

Descripcion: Arena limosa arcillosa

MTC E 108-2016

CONTENIDO DE HUMEDAD DEL SUELO

DESCRIPCIÓN	MUESTRA 01	MUESTRA 02	MUESTRA 03
Peso de Capsula (gr)	17.66	20.95	18.12
Peso de Capsula + Muestra Húmeda (gr)	87.37	89.02	101.35
Peso de Capsula + Muestra Seca (gr)	66.22	68.27	76.15
Peso del Agua (gr)	21.15	20.75	25.20
Peso de la Muestra Seca (gr)	48.56	47.32	58.03
Contenido de Humedad	43.55%	43.85%	43.43%



CONTENIDO DE HUMEDAD NATURAL = 43.61%

observaciones: -Muestra tomadas en Campo por el Laboratorio



GEOINTEC J&H CONSULTORES S.AC.
LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y MATERIALES. CONTROL DE CALIDAD Y ASISTENCIA TÉCNICA.

-ESTUDIO DE INGENIERÍA, CONSULTORÍA, SUPERVISIÓN Y EJECUCIÓN DE OBRAS CIVILES
 URB. PATA PATA LIRCAY A-435, SAN JERONIMO-CUSCO-PERÚ

CEL: 964200692

DEPARTAMENTO DE GEOTECNIA

Proyecto: "EVALUACION GEOLÓGICA-GEOTÉCNICA DE FACTIBILIDAD PARA LA AMPLIACION DE LA PRESA HUAYLLUMAYO MEDIANTE LA CONSTRUCCION DE UN NUEVO EJE DE PRESA, DISTRITO Y PROVINCIA DE ESPINAR, DEPARTAMENTO DE CUSCO-2024

Ubicación: HUAYLLUMAYO - ESPINAR

Solicita: BCH. ANGEL MOLLEHUANCA PABLO, BCH. JESUS QUISPE CARDENAS

0

Fecha Recepción: CUSCO, AGOSTO DEL 2024

Finalidad: EMS

Datos Muestra

Descripcion: Arena limosa arcillosa

MTC E 107-2016

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO

Antes del Lavado

Peso de la Muestra Seca = 1072.00 gr

Despues del Lavado

Peso de la Muestra Seca = 615.00 gr

% de Error en Peso = 0.00% Ok!

TAMIZ	ABERTURA (mm)	PESO RETENIDO (gr)	PESO QUE PASA (gr)	% RETENIDO	% RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA
4"	100	0.00	615.0	0.00%	0.00%	100.00%
3"	75	0.00	615.00	0.00%	0.00%	100.00%
2"	50	0.00	615.00	0.00%	0.00%	100.00%
1½"	37.5	0.00	615.00	0.00%	0.00%	100.00%
1"	25	0.00	615.00	0.00%	0.00%	100.00%
¾"	19	14.00	601.00	1.31%	1.31%	98.69%
⅜"	9.5	47.00	554.00	4.38%	5.69%	94.31%
Nº 4	4.76	63.00	491.00	5.88%	11.57%	88.43%
Nº 10	2	136.00	355.00	12.69%	24.25%	75.75%
Nº 20	0.840	93.00	262.00	8.68%	32.93%	67.07%
Nº 40	0.425	115.00	147.00	10.73%	43.66%	56.34%
Nº 60	0.260	35.00	112.00	3.26%	46.92%	53.08%
Nº 140	0.106	92.00	20.00	8.58%	55.50%	44.50%
Nº 200	0.075	18.00	2.00	1.68%	57.18%	42.82%
Cazuela	-	2.00	-	0.19%	57.37%	-
Lavado	-	457.00	-	42.63%	99.81%	-

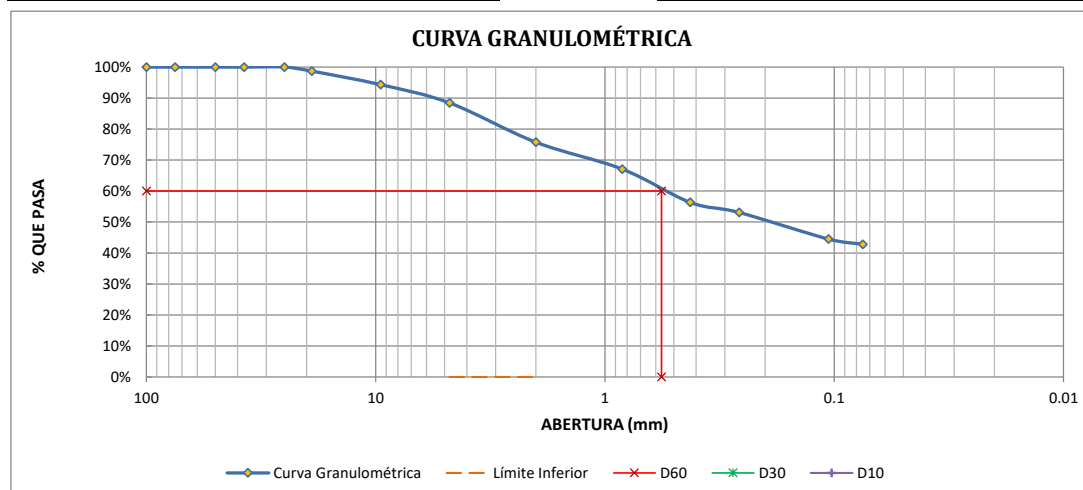
Total Fracción Retenida en Lavado = **615.00**

100.00%

Fracciones Retenidas	De la Fraccion Gruesa	Propiedades
% de Gravas(Ret.nº4) = 11.57%	% de grava = 20.23%	T. Max.Absoluto= 1"
% de Arena (Pas Nº4-Ret Nº200)= 45.62%	% de arena = 79.77%	T. Max.Relativo= ¾"
% de Finos(Pas Nº200)= 42.82%	Total = 100.00%	Clasf. SUCS= SC - SM
Total= 100.00%		Clasif.AASHTO= A-4 (2) =

Calculo del Coeficiente de Uniformidad (Cu)
D60 = 0.57 mm
D10 = -
Cu = -

Calculo del Coeficiente de Curvatura (Cc)
D60 = 0.57 mm
D30 = -
D10 = -
Cc = -



observaciones: -Muestra tomadas en Campo por el Laboratorio



GEOINTEC J&H CONSULTORES S.A.C.
LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y MATERIALES. CONTROL DE CALIDAD Y ASISTENCIA TÉCNICA.

-ESTUDIO DE INGENIERÍA, CONSULTORÍA, SUPERVISIÓN Y EJECUCIÓN DE OBRAS CIVILES
 URB. PATA PATA LIRCA Y A-435, SAN JERONIMO-CUSCO-PERÚ

CEL: 964200692

DEPARTAMENTO DE GEOTECNIA

Proyecto: "EVALUACION GEOLÓGICA-GEOTÉCNICA DE FACTIBILIDAD PARA LA AMPLIACION DE LA PRESA HUAYLLUMAYO MEDIANTE LA CONSTRUCCION DE UN NUEVO EJE DE PRESA, DISTRITO Y PROVINCIA DE ESPINAR, DEPARTAMENTO DE CUSCO-2024"

Ubicación: HUAYLLUMAYO - ESPINAR

Solicita: BCH. ANGEL MOLLEHUANCA PABLO, BCH. JESUS QUISPE CARDENAS

0

Fecha Recepción: CUSCO, AGOSTO DEL 2024

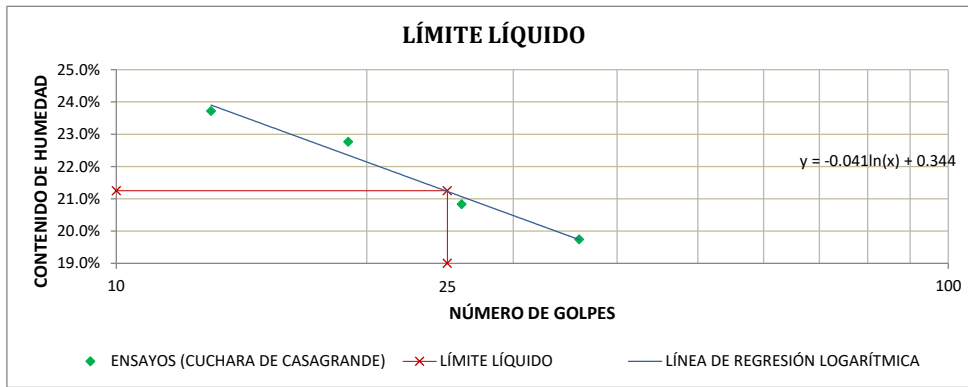
Finalidad: EMS

Datos Muestra

Descripcion: Arena limosa arcillosa

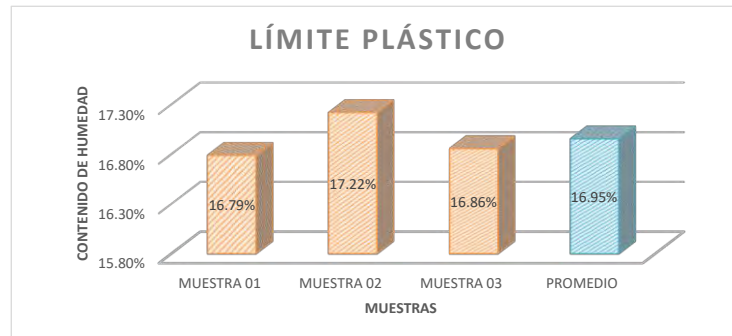
MTC E 110 - 2016 LÍMITE LÍQUIDO

DESCRIPCIÓN	MUESTRA 01	MUESTRA 02	MUESTRA 03	MUESTRA 04
Peso de Capsula (gr)	8.14	9.69	11.06	10.96
Peso de Capsula + Muestra Húmeda (gr)	22.09	21.64	20.12	19.41
Peso de Capsula + Muestra Seca (gr)	19.79	19.58	18.44	17.79
Peso del Agua (gr)	2.30	2.06	1.68	1.62
Peso de la Muestra Seca (gr)	11.65	9.89	7.38	6.83
Contenido de Humedad	19.74%	20.83%	22.76%	23.72%
Número de Golpes	36	26	19	13



MTC E 111 - 2016 LÍMITE PLÁSTICO

DESCRIPCIÓN	MUESTRA 01	MUESTRA 02	MUESTRA 03
Peso de Capsula (gr)	8.31	9.59	8.51
Peso de Capsula + Muestra Húmeda (gr)	13.11	11.36	13.64
Peso de Capsula + Muestra Seca (gr)	12.42	11.10	12.90
Peso del Agua (gr)	0.69	0.26	0.74
Peso de la Muestra Seca (gr)	4.11	1.51	4.39
Contenido de Humedad	16.79%	17.22%	16.86%



LÍMITE LÍQUIDO = 21.00%
LÍMITE PLÁSTICO = 17.00%
ÍNDICE DE PLASTICIDAD = 4.00%

observaciones: -Muestra tomadas en Campo por el Laboratorio



GEOINTEC J&H CONSULTORES S.A.C.
LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y MATERIALES. CONTROL DE CALIDAD Y ASISTENCIA TÉCNICA.
 -ESTUDIO DE INGENIERÍA, CONSULTORÍA, SUPERVISIÓN Y EJECUCIÓN DE OBRAS CIVILES
 URB. PATA PATA LIRCAY A-435, SAN JERONIMO-CUSCO-PERÚ CEL: 964200692

DEPARTAMENTO DE GEOTECNIA

Proyecto: "EVALUACION GEOLÓGICA-GEOTÉCNICA DE FACTIBILIDAD PARA LA AMPLIACION DE LA PRESA HUAYLLUMAYO MEDIANTE LA CONSTRUCCION DE UN NUEVO EJE DE PRESA, DISTRITO Y PROVINCIA DE ESPINAR, DEPARTAMENTO DE CUSCO-2024"

Ubicación: HUAYLLUMAYO - ESPINAR

Solicita: BCH. ANGEL MOLLEHUANCA PABLO, BCH. JESUS QUISPE CARDENAS

Fecha Recepción: CUSCO, AGOSTO DEL 2024

Finalidad: EMS

Datos Muestra

Descripcion: Arena limosa arcillosa

ASTM D-2487

SISTEMA UNIFICADO DE CLASIFICACIÓN DE SUELOS (SUCS)

DATOS PARA CLASIFICACIÓN	
De Granulometría	
% de Gruesos =	57.18%
% de Finos =	42.82%
Total =	100.00%
% de Grava =	11.57%
% de Arena =	45.62%
Total =	57.18%
Fracción Gruesa	
% de Grava =	20.23%
% de Arena =	79.77%
Total =	100.00%
Coefficientes	
Cu =	-
Cc =	-
De Límites de Consistencia	
LL =	21.00%
LP =	17.00%
IP =	4.00%
Otros Datos	
Tipo =	Inorgánico

CRITERIOS PARA LA ASIGNACIÓN DE SÍMBOLOS DE GRUPO Y NOMBRE DE GRUPO CON EL USO DE ENSAYOS DE LABORATORIO		SÍMBOLO	NOMBRE DE GRUPO
SUELOS DE PARTÍCULAS GRUESAS Más del 50% es retenido en la malla Nº 200	GRAVAS Más del 50% de la fracción gruesa es retenida en la malla Nº 4	GRAVAS LIMPIAS Menos del 5% pasa la malla Nº 200	Cu ≥ 4 y 1 ≤ Cc ≤ 3 GW Grava bien graduada
		GRAVAS CON FINOS Mas del 12% pasa la malla Nº 200	Cu < 4 ó 1 > Cc > 3 GP Grava mal graduada
		GRAVAS LIMPIAS Y CON FINOS Entre el 5 y 12% pasa malla Nº 200	IP < 4 ó abajo de la línea "A" en la carta de plasticidad GM Grava limosa
			IP > 7 y arriba de la línea "A" en la carta de plasticidad GC Grava arcillosa
			4 ≤ IP ≤ 7 y arriba de la línea "A" en la carta de plasticidad GC - GM Grava limosa arcillosa
			Cumple los criterios para GW y GM GW - GM Grava bien graduada con limo
	ARENAS El 50% o más de la fracción gruesa pasa la malla Nº 4	ARENAS LIMPIAS Menos del 5% pasa la malla Nº 200	Cumple los criterios para GW y GC o para GW y GC - GM GW - GC Grava bien graduada con arcilla
		ARENAS CON FINOS Mas del 12% pasa la malla Nº 200	Cumple los criterios para GP y GM GP - GM Grava mal graduada con limo
		ARENAS LIMPIAS Y CON FINOS Entre el 5 y 12% pasa malla Nº 200	Cumple los criterios para GP y GC o para GP y GC - GM GP - GC Grava mal graduada con arcilla
			Cu ≥ 6 y 1 ≤ Cc ≤ 3 SW Arena bien graduada
			Cu < 6 ó 1 > Cc > 3 SP Arena mal graduada
			IP < 4 ó abajo de la línea "A" en la carta de plasticidad SM Arena limosa
SUELOS DE PARTÍCULAS FINAS El 50% o más pasa la malla Nº 200	LIMOS Y ARCILLAS Límite Líquido menor que 50	ARENAS Mas del 12% pasa la malla Nº 200	IP > 7 y arriba de la línea "A" en la carta de plasticidad SC Arena arcillosa
			4 ≤ IP ≤ 7 y arriba de la línea "A" en la carta de plasticidad SC - SM Arena limosa arcillosa
			Cumple los criterios para SW y SM SW - SM Arena bien graduada con limo
			Cumple los criterios para SW y SC o para SW y SC - SM SW - SC Arena bien graduada con arcilla
			Cumple los criterios para SP y SM SP - SM Arena mal graduada con limo
			Cumple los criterios para SP y SC o para SP y SC - SM SP - SC Arena mal graduada con arcilla
	LIMOS Y ARCILLAS Límite Líquido 50 o mayor		IP < 4 ó abajo de la línea "A" en la carta de plasticidad ML Limo de baja plasticidad
			IP > 7 y arriba de la línea "A" en la carta de plasticidad CL Arcilla de baja plasticidad
			4 ≤ IP ≤ 7 y arriba de la línea "A" en la carta de plasticidad CL - ML Arcilla limosa
			Límite Líquido <i>secado al horno</i> < 0.75 OL Limo orgánico
			Límite Líquido <i>no secado</i> < 0.75 OH Limo orgánico
			Se grafica en la carta de plasticidad abajo de la línea "A" MH Limo de alta plasticidad
SUELOS ALTAMENTE ORGÁNICOS Principalmente materia orgánica de color oscuro		CH Arcilla de alta plasticidad	Pt Turba

SC - SM = Arena limosa arcillosa

El Equipo ideal de Compactación que recomienda la ASTM para este tipo de suelo es: Rodillo de neumáticos, rodillo de pata de cabra



GEOINTEC J&H CONSULTORES S.A.C.

LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y MATERIALES. CONTROL DE CALIDAD Y ASISTENCIA TÉCNICA.

-ESTUDIO DE INGENIERÍA, CONSULTORÍA, SUPERVISIÓN Y EJECUCIÓN DE OBRAS CIVILES
URB. PATA PATA LIRCA Y A-435, SAN JERONIMO-CUSCO-PERÚ

CEL: 964200692

DEPARTAMENTO DE GEOTECNIA

Proyecto: "EVALUACION GEOLÓGICA-GEOTÉCNICA DE FACTIBILIDAD PARA LA AMPLIACION DE LA PRESA HUAYLLUMAYO MEDIANTE LA CONSTRUCCION DE UN NUEVO EJE DE PRESA, DISTRITO Y PROVINCIA DE ESPINAR, DEPARTAMENTO DE CUSCO-2024"

Ubicación: HUAYLLUMAYO - ESPINAR

Solicita: BCH. ANGEL MOLLEHUANCA PABLO, BCH. JESUS QUISPE CARDENAS

Fecha Recepción: CUSCO, AGOSTO DEL 2024

Finalidad: EMS

Datos Muestra

Descripcion: Arena limosa arcillosa

ASTM D-2487

SISTEMA UNIFICADO DE CLASIFICACIÓN DE SUELOS (SUCS)

DIAGRAMA DE CLASIFICACIÓN DE SUELOS DEL SISTEMA UNIFICADO DE CLASIFICACIÓN DE SUELOS

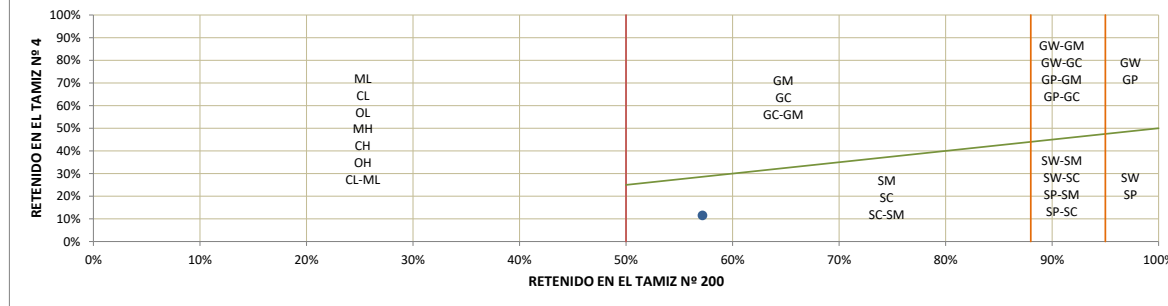
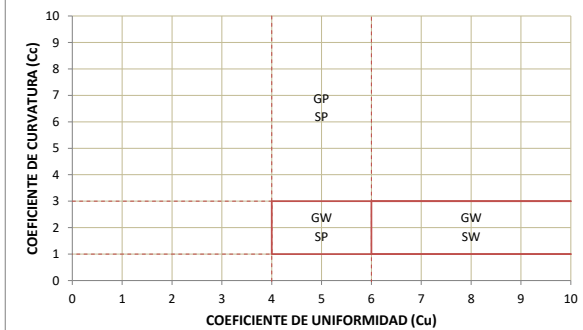
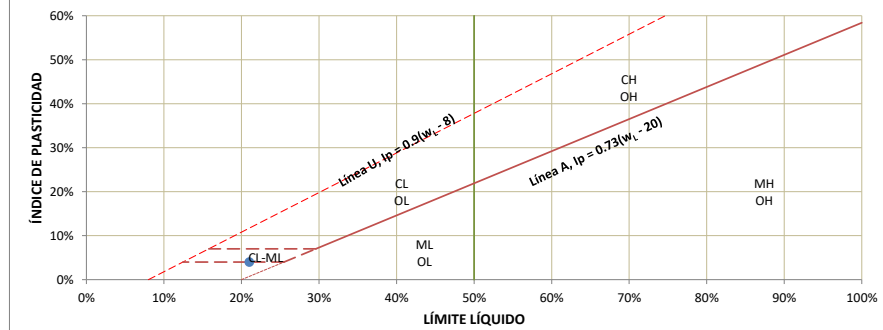


DIAGRAMA DE GRADACIÓN DE SUELOS GRUESOS



CARTA DE PLASTICIDAD DE CASAGRANDE PARA SUELOS FINOS





GEOINTEC J&H CONSULTORES S.AC.

LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y MATERIALES. CONTROL DE CALIDAD Y ASISTENCIA TÉCNICA.

-ESTUDIO DE INGENIERÍA, CONSULTORÍA, SUPERVISIÓN Y EJECUCIÓN DE OBRAS CIVILES

URB. PATA PATA LIRCAY A-435, SAN JERONIMO-CUSCO-PERÚ

CEL: 964200692

DEPARTAMENTO DE GEOTECNIA

Proyecto: "EVALUACION GEOLÓGICA-GEOTÉCNICA DE FACTIBILIDAD PARA LA AMPLIACION DE LA PRESA HUAYLLUMAYO MEDIANTE LA CONSTRUCCION DE UN NUEVO EJE DE PRESA, DISTRITO Y PROVINCIA DE ESPINAR, DEPARTAMENTO DE CUSCO-2024"

Ubicación: HUAYLLUMAYO - ESPINAR

Solicita: Br. ANGEL MOLLEHUANCA PABLO, Br. JESUS QUISPE CARDENAS

Fecha Recepción: CUSCO, AGOSTO DEL 2024

Finalidad: EMS

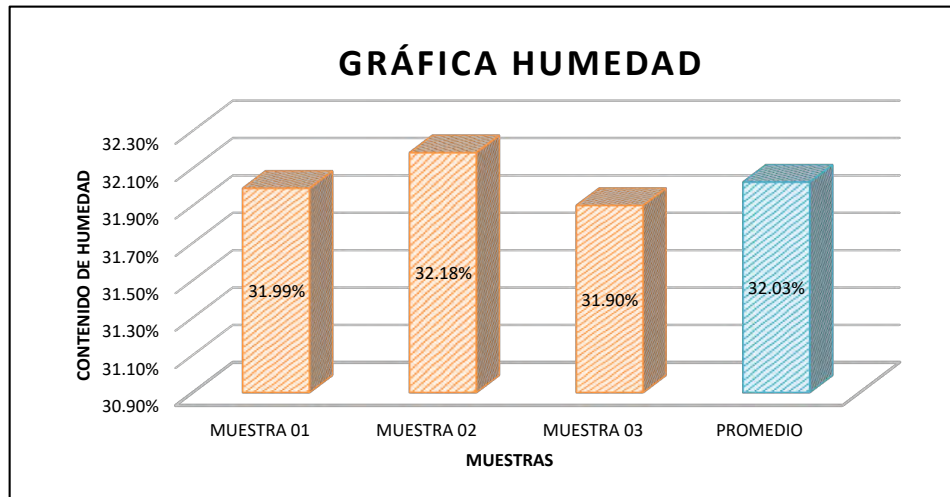
Datos Muestra

Descripcion: Arena mal graduada con limo

MTC E 108-2016

CONTENIDO DE HUMEDAD DEL SUELO

DESCRIPCIÓN	MUESTRA 01	MUESTRA 02	MUESTRA 03
Peso de Capsula (gr)	19.74	15.13	17.18
Peso de Capsula + Muestra Húmeda (gr)	105.39	118.96	111.08
Peso de Capsula + Muestra Seca (gr)	84.63	93.68	88.37
Peso del Agua (gr)	20.76	25.28	22.71
Peso de la Muestra Seca (gr)	64.89	78.55	71.19
Contenido de Humedad	31.99%	32.18%	31.90%



CONTENIDO DE HUMEDAD NATURAL = 32.03%

observaciones: -Muestra tomadas en Campo por el Laboratorio



GEOINTEC J&H CONSULTORES S.AC.
LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y MATERIALES. CONTROL DE CALIDAD Y ASISTENCIA TÉCNICA.

-ESTUDIO DE INGENIERÍA, CONSULTORÍA, SUPERVISIÓN Y EJECUCIÓN DE OBRAS CIVILES
 URB. PATA PATA LIRCAY A-435, SAN JERONIMO-CUSCO-PERÚ

CEL: 964200692

DEPARTAMENTO DE GEOTECNIA

Proyecto: "EVALUACION GEOLÓGICA-GEOTÉCNICA DE FACTIBILIDAD PARA LA AMPLIACION DE LA PRESA HUAYLLUMAYO MEDIANTE LA CONSTRUCCION DE UN NUEVO EJE DE PRESA, DISTRITO Y PROVINCIA DE ESPINAR, DEPARTAMENTO DE CUSCO-2024"

Ubicación: HUAYLLUMAYO - ESPINAR

Solicita: Br. ANGEL MOLLEHUANCA PABLO, Br. JESUS QUISPE CARDENAS

0

Fecha Recepción: CUSCO, AGOSTO DEL 2024

Finalidad: EMS

Datos Muestra

Descripcion: Arena mal graduada con limo

MTC E 107-2016 ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO

Antes del Lavado

Peso de la Muestra Seca = 815.00 gr

Despues del Lavado

Peso de la Muestra Seca = 747.00 gr

% de Error en Peso = 0.00% Ok!

TAMIZ	ABERTURA (mm)	PESO RETENIDO (gr)	PESO QUE PASA (gr)	% RETENIDO	% RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA
4"	100	0.00	747.0	0.00%	0.00%	100.00%
3"	75	0.00	747.00	0.00%	0.00%	100.00%
2"	50	0.00	747.00	0.00%	0.00%	100.00%
1½"	37.5	0.00	747.00	0.00%	0.00%	100.00%
1"	25	0.00	747.00	0.00%	0.00%	100.00%
¾"	19	0.00	747.00	0.00%	0.00%	100.00%
⅜"	9.5	25.00	722.00	3.07%	3.07%	96.93%
Nº 4	4.76	40.00	682.00	4.91%	7.98%	92.02%
Nº 10	2	78.00	604.00	9.57%	17.55%	82.45%
Nº 20	0.840	63.00	541.00	7.73%	25.28%	74.72%
Nº 40	0.425	187.00	354.00	22.94%	48.22%	51.78%
Nº 60	0.260	64.00	290.00	7.85%	56.07%	43.93%
Nº 140	0.106	232.00	58.00	28.47%	84.54%	15.46%
Nº 200	0.075	53.00	5.00	6.50%	91.04%	8.96%
Cazuela	-	5.00	-	0.61%	91.66%	-
Lavado	-	68.00	-	8.34%	99.39%	-

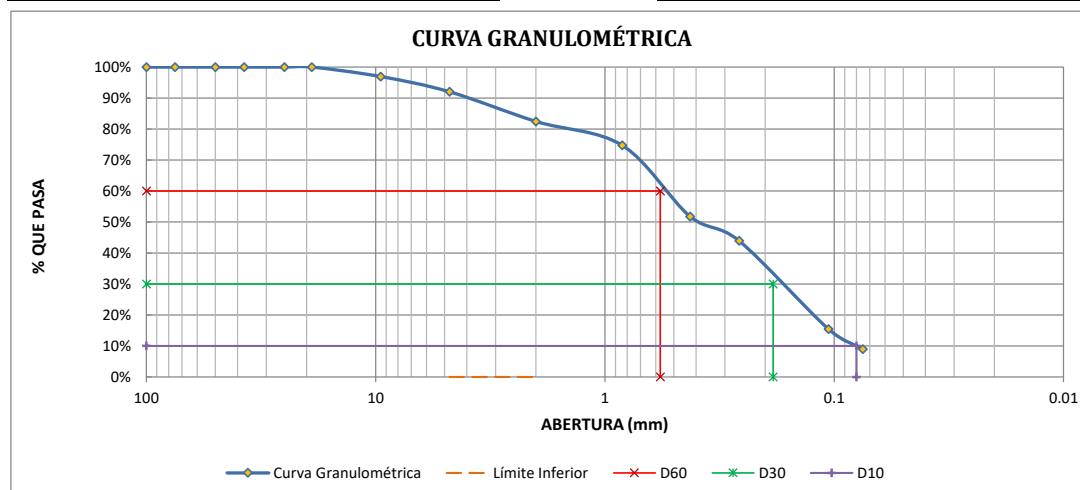
Total Fracción Retenida en Lavado = **747.00**

100.00%

Fracciones Retenidas	De la Fraccion Gruesa	Propiedades
% de Gravas(Ret.nº4) = 7.98%	% de grava = 8.76%	T. Max.Absoluto= 3/4"
% de Arena (Pas Nº4-Ret Nº200)= 83.07%	% de arena = 91.24%	T. Max.Relativo= Nº 4
% de Finos(Pas Nº200)= 8.96%	Total = 100.00%	Clasf. SUCS= SP - SM
Total= 100.00%		Clasif.AASHTO= A-3 (0) =

Calculo del Coeficiente de Uniformidad (Cu)
D60 = 0.57 mm
D10 = 0.08 mm
Cu= 7.17

Calculo del Coeficiente de Curvatura (Cc)
D60 = 0.57 mm
D30 = 0.18 mm
D10 = 0.08 mm
Cc= 0.74



observaciones: -Muestra tomadas en Campo por el Laboratorio



GEOINTEC J&H CONSULTORES S.A.C.
LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y MATERIALES. CONTROL DE CALIDAD Y ASISTENCIA TÉCNICA.

-ESTUDIO DE INGENIERÍA, CONSULTORÍA, SUPERVISIÓN Y EJECUCIÓN DE OBRAS CIVILES
URB. PATA PATA LIRCA Y A-435, SAN JERONIMO-CUSCO-PERÚ

CEL: 964200692

DEPARTAMENTO DE GEOTECNIA

Proyecto: "EVALUACION GEOLÓGICA-GEOTÉCNICA DE FACTIBILIDAD PARA LA AMPLIACION DE LA PRESA HUAYLLUMAYO MEDIANTE LA CONSTRUCCION DE UN NUEVO EJE DE PRESA, DISTRITO Y PROVINCIA DE ESPINAR, DEPARTAMENTO DE CUSCO-2024."

Ubicación: HUAYLLUMAYO - ESPINAR

Solicita: Br. ANGEL MOLLEHUANCA PABLO, Br. JESUS QUISPE CARDENAS

0

Fecha Recepción: CUSCO, AGOSTO DEL 2024

Finalidad: EMS

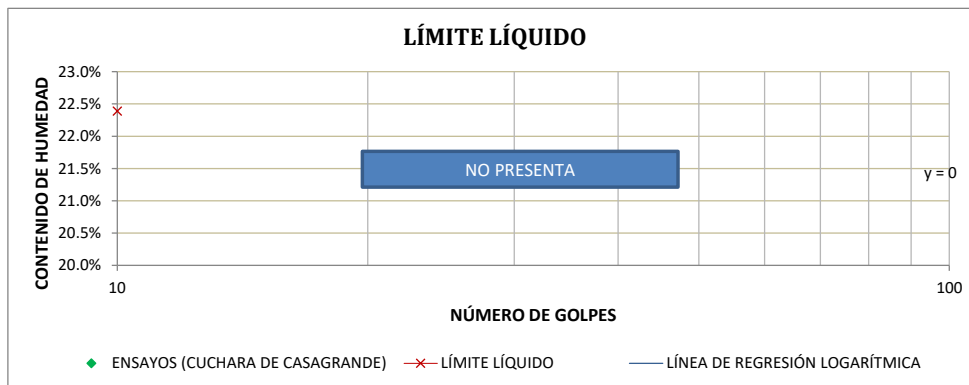
Datos Muestra

Descripcion: Arena mal graduada con limo

MTC E 110 - 2016

LÍMITE LÍQUIDO

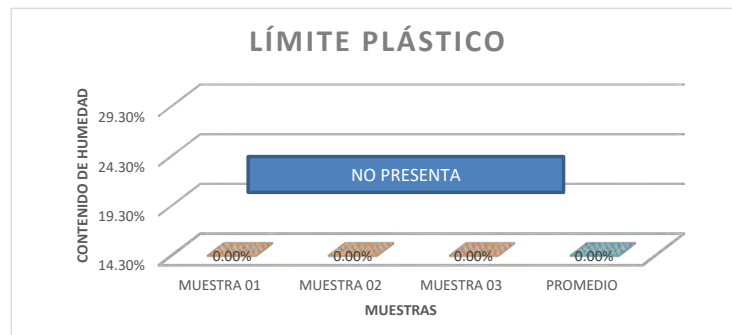
DESCRIPCIÓN	MUESTRA 01	MUESTRA 02	MUESTRA 03	MUESTRA 04
Peso de Capsula (gr)	0.00	0.00	0.00	0.00
Peso de Capsula + Muestra Húmeda (gr)	0.00	0.00	0.00	0.00
Peso de Capsula + Muestra Seca (gr)	0.00	0.00	0.00	0.00
Peso del Agua (gr)	0.00	0.00	0.00	0.00
Peso de la Muestra Seca (gr)	0.00	0.00	0.00	0.00
Contenido de Humedad	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
Número de Golpes	36	26	19	13



MTC E 111 - 2016

LÍMITE PLÁSTICO

DESCRIPCIÓN	MUESTRA 01	MUESTRA 02	MUESTRA 03
Peso de Capsula (gr)	0.00	0.00	0.00
Peso de Capsula + Muestra Húmeda (gr)	0.00	0.00	0.00
Peso de Capsula + Muestra Seca (gr)	0.00	0.00	0.00
Peso del Agua (gr)	0.00	0.00	0.00
Peso de la Muestra Seca (gr)	0.00	0.00	0.00
Contenido de Humedad	0.00%	0.00%	0.00%



LÍMITE LÍQUIDO = NO PRESENTA

LÍMITE PLÁSTICO = NO PRESENTA

ÍNDICE DE PLASTICIDAD = NO PRESENTA

observaciones: -Muestra tomadas en Campo por el Laboratorio

**GEOINTEC J&H CONSULTORES S.A.C.****LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y MATERIALES. CONTROL DE CALIDAD Y ASISTENCIA TÉCNICA.**-ESTUDIO DE INGENIERÍA, CONSULTORÍA, SUPERVISIÓN Y EJECUCIÓN DE OBRAS CIVILES
URB. PATA PATA LIRCAY A-435, SAN JERONIMO-CUSCO-PERÚ

CEL: 964200692

DEPARTAMENTO DE GEOTECNIA

Proyecto: "EVALUACION GEOLÓGICA-GEOTÉCNICA DE FACTIBILIDAD PARA LA AMPLIACION DE LA PRESA HUAYLLUMAYO MEDIANTE LA CONSTRUCCION DE UN NUEVO EJE DE PRESA, DISTRITO Y PROVINCIA DE ESPINAR, DEPARTAMENTO DE CUSCO-2024"**Ubicación:** HUAYLLUMAYO - ESPINAR**Solicita:** Br. ANGEL MOLLEHUANCA PABLO, Br. JESUS QUISPE CARDENAS**Fecha Recepción:** CUSCO, AGOSTO DEL 2024

Finalidad: EMS

Datos Muestra**Descripcion:** Arena mal graduada con limo**ASTM D-2487 SISTEMA UNIFICADO DE CLASIFICACIÓN DE SUELOS (SUCS)**

DATOS PARA CLASIFICACIÓN		CRITERIOS PARA LA ASIGNACIÓN DE SÍMBOLOS DE GRUPO Y NOMBRE DE GRUPO CON EL USO DE ENSAYOS DE LABORATORIO		SÍMBOLO	NOMBRE DE GRUPO	
De Granulometría		GRAVAS LIMPIAS		Cu ≥ 4 y 1 ≤ Cc ≤ 3	GW	Grava bien graduada
% de Gruesos = 91.04%		Menos del 5% pasa la malla Nº 200		Cu < 4 ó 1 > Cc > 3	GP	Grava mal graduada
% de Finos = 8.96%		GRAVAS CON FINOS		IP < 4 ó abajo de la línea "A" en la carta de plasticidad	GM	Grava limosa
Total = 100.00%		Mas del 12% pasa la malla Nº 200		IP > 7 y arriba de la línea "A" en la carta de plasticidad	GC	Grava arcillosa
% de Grava = 7.98%		GRAVAS LIMPIAS Y CON FINOS		4 ≤ IP ≤ 7 y arriba de la línea "A" en la carta de plasticidad	GC - GM	Grava limosa arcillosa
% de Arena = 83.07%		Entre el 5 y 12% pasa malla Nº 200		Cumple los criterios para GW y GM	GW - GM	Grava bien graduada con limo
Total = 91.04%		ARENAS LIMPIAS		Cumple los criterios para GW y GC o para GW y GC - GM	GW - GC	Grava bien graduada con arcilla
Fracción Gruesa		ARENAS CON FINOS		Cumple los criterios para GP y GM	GP - GM	Grava mal graduada con limo
% de Grava = 8.76%		Mas del 12% pasa la malla Nº 200		Cumple los criterios para GP y GC o para GP y GC - GM	GP - GC	Grava mal graduada con arcilla
% de Arena = 91.24%		ARENAS LIMPIAS Y CON FINOS		Cu ≥ 6 y 1 ≤ Cc ≤ 3	SW	Arena bien graduada
Total = 100.00%		Entre el 5 y 12% pasa malla Nº 200		Cu < 6 ó 1 > Cc > 3	SP	Arena mal graduada
Coeficientes		ARENAS		IP < 4 ó abajo de la línea "A" en la carta de plasticidad	SM	Arena limosa
Cu = 7.17		El 50% o más de la fracción gruesa pasa la malla Nº 4		IP > 7 y arriba de la línea "A" en la carta de plasticidad	SC	Arena arcillosa
Cc = 0.743		ARENAS CON FINOS		4 ≤ IP ≤ 7 y arriba de la línea "A" en la carta de plasticidad	SC - SM	Arena limosa arcillosa
De Límites de Consistencia		ARENAS LIMPIAS Y CON FINOS		Cumple los criterios para SW y SM	SW - SM	Arena bien graduada con limo
LL = NO PRESENTA		Entre el 5 y 12% pasa malla Nº 200		Cumple los criterios para SW y SC o para SW y SC - SM	SW - SC	Arena bien graduada con arcilla
LP = NO PRESENTA		ARENAS LIMPIAS Y CON FINOS		Cumple los criterios para SP y SM	SP - SM	Arena mal graduada con limo
IP = NO PRESENTA		Entre el 5 y 12% pasa malla Nº 200		Cumple los criterios para SP y SC o para SP y SC - SM	SP - SC	Arena mal graduada con arcilla
Otros Datos		SUELOS DE LIMOS Y ARCILLAS		IP < 4 ó abajo de la línea "A" en la carta de plasticidad	ML	Limo de baja plasticidad
Tipo = Inorgánico		Límite Líquido menor que 50		IP > 7 y arriba de la línea "A" en la carta de plasticidad	CL	Arcilla de baja plasticidad
		Inorgánicos		4 ≤ IP ≤ 7 y arriba de la línea "A" en la carta de plasticidad	CL - ML	Arcilla limosa
		Orgánicos		Límite Líquido secado al horno < 0.75	OL	Limo orgánico
		Límite Líquido no secado < 0.75		Se grafica en la carta de plasticidad abajo de la línea "A"	MH	Limo de alta plasticidad
		SUELOS DE PARTÍCULAS FINAS		Se grafica en la carta de plasticidad arriba de la línea "A"	CH	Arcilla de alta plasticidad
		El 50% o más pasa la malla Nº 200		Límite Líquido secado al horno < 0.75	OH	Limo orgánico
		LIMOS Y ARCILLAS		Límite Líquido no secado < 0.75	OH	Arcilla orgánica
		Límite Líquido 50 o mayor		Principalmente materia orgánica de color oscuro	Pt	Turba
		Orgánicos				
		SUELOS ALTAMENTE ORGÁNICOS				

SP - SM = Arena mal graduada con limo

El Equipo ideal de Compactación que recomienda la ASTM para este tipo de suelo es: Tractor tipo oruga, rodillo de neumáticos, rodillo de pata de cabra



GEOINTEC J&H CONSULTORES S.A.C.
LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y MATERIALES. CONTROL DE CALIDAD Y ASISTENCIA TÉCNICA.
 -ESTUDIO DE INGENIERÍA, CONSULTORÍA, SUPERVISIÓN Y EJECUCIÓN DE OBRAS CIVILES
 URB. PATA PATA LIRCAY A-435, SAN JERONIMO-CUSCO-PERÚ CEL: 964200692

DEPARTAMENTO DE GEOTECNIA

Proyecto: "EVALUACION GEOLÓGICA-GEOTÉCNICA DE FACTIBILIDAD PARA LA AMPLIACION DE LA PRESA HUAYLLUMAYO MEDIANTE LA CONSTRUCCION DE UN NUEVO EJE DE PRESA, DISTRITO Y PROVINCIA DE ESPINAR, DEPARTAMENTO DE CUSCO-2024"

Ubicación: HUAYLLUMAYO - ESPINAR

Solicita: Br. ANGEL MOLLEHUANCA PABLO, Br. JESUS QUISPE CARDENAS

Fecha Recepción: CUSCO, AGOSTO DEL 2024

Finalidad: EMS

Datos Muestra

Descripcion: Arena mal graduada con limo

ASTM D-2487

SISTEMA UNIFICADO DE CLASIFICACIÓN DE SUELOS (SUCS)

DIAGRAMA DE CLASIFICACIÓN DE SUELOS DEL SISTEMA UNIFICADO DE CLASIFICACIÓN DE SUELOS

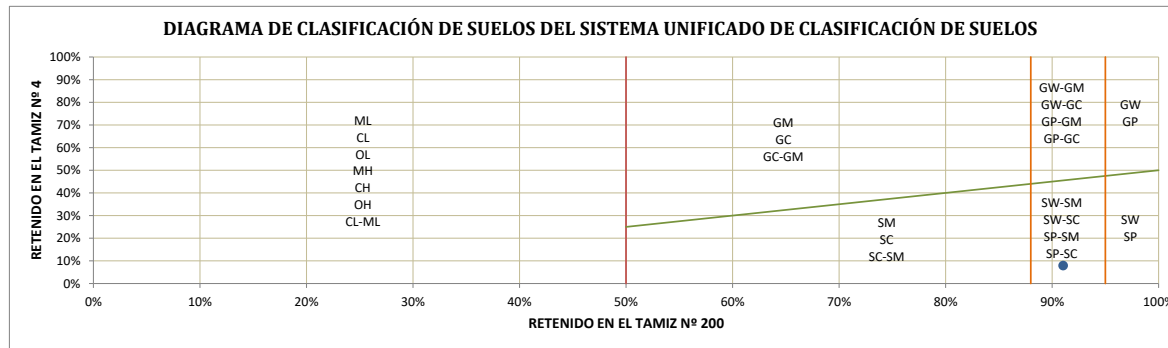
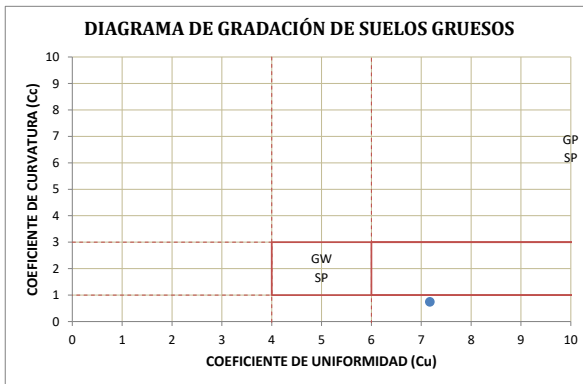
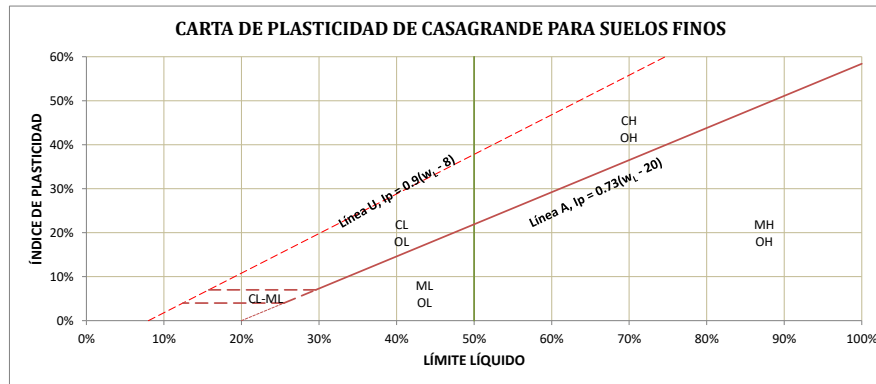


DIAGRAMA DE GRADACIÓN DE SUELOS GRUESOS



CARTA DE PLASTICIDAD DE CASAGRANDE PARA SUELOS FINOS





GEOINTEC J&H CONSULTORES S.AC.

LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y MATERIALES. CONTROL DE CALIDAD Y ASISTENCIA TÉCNICA.

-ESTUDIO DE INGENIERÍA, CONSULTORÍA, SUPERVISIÓN Y EJECUCIÓN DE OBRAS CIVILES

URB. PATA PATA LIRCAY A-435, SAN JERONIMO-CUSCO-PERÚ

CEL: 964200692

DEPARTAMENTO DE GEOTECNIA

Proyecto: "EVALUACION GEOLÓGICA-GEOTÉCNICA DE FACTIBILIDAD PARA LA AMPLIACION DE LA PRESA HUAYLLUMAYO MEDIANTE LA CONSTRUCCION DE UN NUEVO EJE DE PRESA, DISTRITO Y PROVINCIA DE ESPINAR, DEPARTAMENTO DE CUSCO-2024"

Ubicación: HUAYLLUMAYO - ESPINAR

Solicita: Br. ANGEL MOLLEHUANCA PABLO, Br. JESUS QUISPE CARDENAS

Fecha Recepción: CUSCO, AGOSTO DEL 2024

Finalidad: EMS

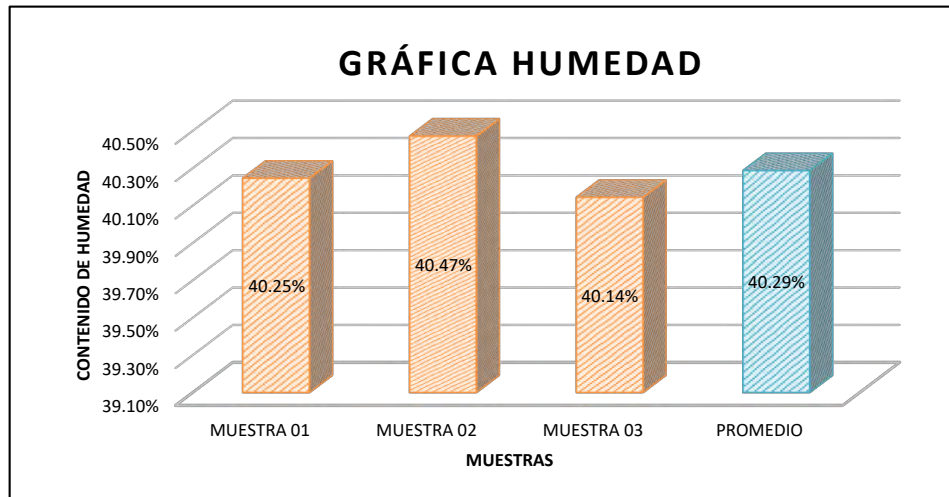
Datos Muestra

Descripcion: Arena mal graduada

MTC E 108-2016

CONTENIDO DE HUMEDAD DEL SUELO

DESCRIPCIÓN	MUESTRA 01	MUESTRA 02	MUESTRA 03
Peso de Capsula (gr)	15.57	19.61	15.55
Peso de Capsula + Muestra Húmeda (gr)	119.10	109.02	110.82
Peso de Capsula + Muestra Seca (gr)	89.39	83.26	83.53
Peso del Agua (gr)	29.71	25.76	27.29
Peso de la Muestra Seca (gr)	73.82	63.65	67.98
Contenido de Humedad	40.25%	40.47%	40.14%



CONTENIDO DE HUMEDAD NATURAL = 40.29%

observaciones: -Muestra tomadas en Campo por el Laboratorio



GEOINTEC J&H CONSULTORES S.AC.
LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y MATERIALES. CONTROL DE CALIDAD Y ASISTENCIA TÉCNICA.

-ESTUDIO DE INGENIERÍA, CONSULTORÍA, SUPERVISIÓN Y EJECUCIÓN DE OBRAS CIVILES
 URB. PATA PATA LIRCA Y A-435, SAN JERONIMO-CUSCO-PERÚ

CEL: 964200692

DEPARTAMENTO DE GEOTECNIA

Proyecto: "EVALUACION GEOLÓGICA-GEOTÉCNICA DE FACTIBILIDAD PARA LA AMPLIACION DE LA PRESA HUAYLLUMAYO MEDIANTE LA CONSTRUCCION DE UN NUEVO EJE DE PRESA, DISTRITO Y PROVINCIA DE ESPINAR, DEPARTAMENTO DE CUSCO-2024"

Ubicación: HUAYLLUMAYO - ESPINAR

Solicita: Br. ANGEL MOLLEHUANCA PABLO, Br. JESUS QUISPE CARDENAS

0

Fecha Recepción: CUSCO, AGOSTO DEL 2024

Finalidad: EMS

Datos Muestra

Descripcion: Arena mal graduada

MTC E 107-2016

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO

Antes del Lavado

Peso de la Muestra Seca = 591.00 gr

Despues del Lavado

Peso de la Muestra Seca = 582.00 gr

% de Error en Peso = 0.00% Ok!

TAMIZ	ABERTURA (mm)	PESO RETENIDO (gr)	PESO QUE PASA (gr)	% RETENIDO	% RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA
4"	100	0.00	582.0	0.00%	0.00%	100.00%
3"	75	0.00	582.00	0.00%	0.00%	100.00%
2"	50	0.00	582.00	0.00%	0.00%	100.00%
1½"	37.5	0.00	582.00	0.00%	0.00%	100.00%
1"	25	0.00	582.00	0.00%	0.00%	100.00%
¾"	19	0.00	582.00	0.00%	0.00%	100.00%
⅜"	9.5	10.00	572.00	1.69%	1.69%	98.31%
Nº 4	4.76	25.00	547.00	4.23%	5.92%	94.08%
Nº 10	2	63.00	484.00	10.66%	16.58%	83.42%
Nº 20	0.840	48.00	436.00	8.12%	24.70%	75.30%
Nº 40	0.425	152.00	284.00	25.72%	50.42%	49.58%
Nº 60	0.260	39.00	245.00	6.60%	57.02%	42.98%
Nº 140	0.106	217.00	28.00	36.72%	93.74%	6.26%
Nº 200	0.075	28.00	0.00	4.74%	98.48%	1.52%
Cazuela	-	0.00	-	0.00%	98.48%	-
Lavado	-	9.00	-	1.52%	100.00%	-

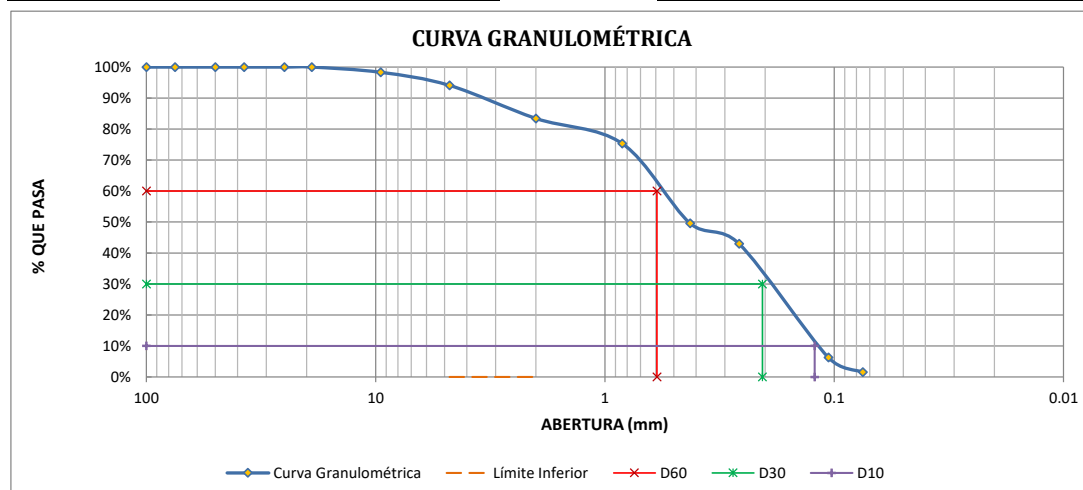
Total Fracción Retenida en Lavado = **582.00**

100.00%

Fracciones Retenidas	De la Fraccion Gruesa	Propiedades
% de Gravas(Ret.nº4) = 5.92%	% de grava = 6.01%	T. Max.Absoluto= ¾"
% de Arena (Pas Nº4-Ret Nº200)= 92.55%	% de arena = 93.99%	T. Max.Relativo= Nº 4
% de Finos(Pas Nº200)= 1.52%	Total = 100.00%	Clasf. SUCS= SP
Total= 100.00%		Clasif.AASHTO= A-1-b (0) =

Calculo del Coeficiente de Uniformidad (Cu)
D60 = 0.59 mm
D10 = 0.12 mm
Cu= 4.87

Calculo del Coeficiente de Curvatura (Cc)
D60 = 0.59 mm
D30 = 0.21 mm
D10 = 0.12 mm
Cc= 0.59



observaciones: -Muestra tomadas en Campo por el Laboratorio



GEOINTEC J&H CONSULTORES S.A.C.
LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y MATERIALES. CONTROL DE CALIDAD Y ASISTENCIA TÉCNICA.

-ESTUDIO DE INGENIERÍA, CONSULTORÍA, SUPERVISIÓN Y EJECUCIÓN DE OBRAS CIVILES
 URB. PATA PATA LIRCA Y A-435, SAN JERONIMO-CUSCO-PERÚ

CEL: 964200692

DEPARTAMENTO DE GEOTECNIA

Proyecto: "EVALUACION GEOLÓGICA-GEOTÉCNICA DE FACTIBILIDAD PARA LA AMPLIACION DE LA PRESA HUAYLLUMAYO MEDIANTE LA CONSTRUCCION DE UN NUEVO EJE DE PRESA, DISTRITO Y PROVINCIA DE ESPINAR, DEPARTAMENTO DE CUSCO-2024."

Ubicación: HUAYLLUMAYO - ESPINAR

Solicita: Br. ANGEL MOLLEHUANCA PABLO, Br. JESUS QUISPE CARDENAS

0

Fecha Recepción: CUSCO, AGOSTO DEL 2024

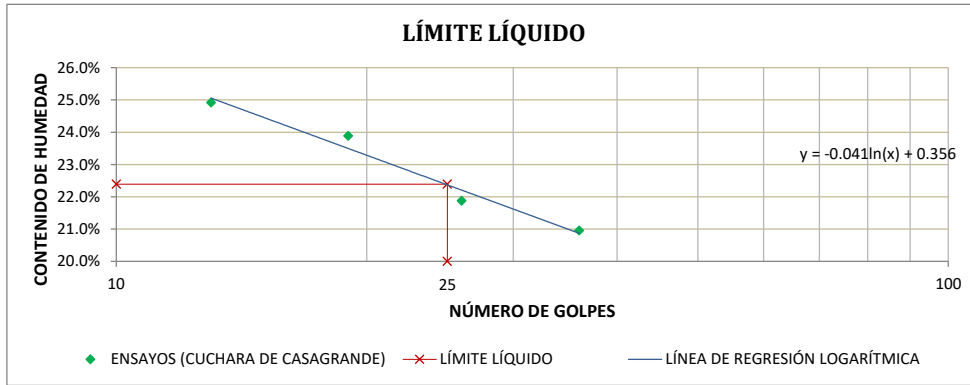
Finalidad: EMS

Datos Muestra

Descripcion: Arena mal graduada

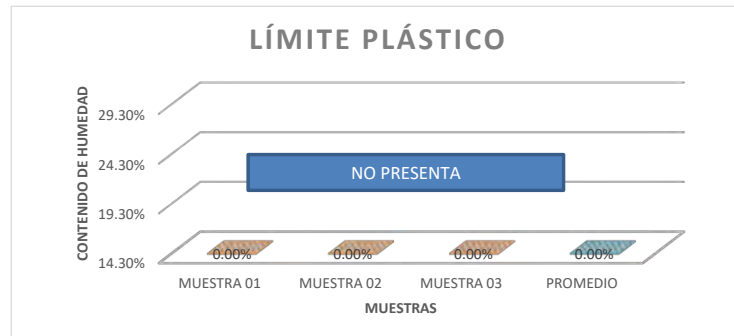
MTC E 110 - 2016 LÍMITE LÍQUIDO

DESCRIPCIÓN	MUESTRA 01	MUESTRA 02	MUESTRA 03	MUESTRA 04
Peso de Capsula (gr)	11.88	10.81	8.08	10.82
Peso de Capsula + Muestra Húmeda (gr)	18.23	22.12	19.49	18.54
Peso de Capsula + Muestra Seca (gr)	17.13	20.09	17.29	17.00
Peso del Agua (gr)	1.10	2.03	2.20	1.54
Peso de la Muestra Seca (gr)	5.25	9.28	9.21	6.18
Contenido de Humedad	20.95%	21.88%	23.89%	24.92%
Número de Golpes	36	26	19	13



MTC E 111 - 2016 LÍMITE PLÁSTICO

DESCRIPCIÓN	MUESTRA 01	MUESTRA 02	MUESTRA 03
Peso de Capsula (gr)	0.00	0.00	0.00
Peso de Capsula + Muestra Húmeda (gr)	0.00	0.00	0.00
Peso de Capsula + Muestra Seca (gr)	0.00	0.00	0.00
Peso del Agua (gr)	0.00	0.00	0.00
Peso de la Muestra Seca (gr)	0.00	0.00	0.00
Contenido de Humedad	0.00%	0.00%	0.00%



LÍMITE LÍQUIDO = 22.00%
LÍMITE PLÁSTICO = NO PRESENTA
ÍNDICE DE PLASTICIDAD = NO PRESENTA

observaciones: -Muestra tomadas en Campo por el Laboratorio



GEOINTEC J&H CONSULTORES S.A.C.
LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y MATERIALES. CONTROL DE CALIDAD Y ASISTENCIA TÉCNICA.
 -ESTUDIO DE INGENIERÍA, CONSULTORÍA, SUPERVISIÓN Y EJECUCIÓN DE OBRAS CIVILES
 URB. PATA PATA LIRCAY A-435, SAN JERONIMO-CUSCO-PERÚ CEL: 964200692

DEPARTAMENTO DE GEOTECNIA

Proyecto: "EVALUACION GEOLÓGICA-GEOTÉCNICA DE FACTIBILIDAD PARA LA AMPLIACION DE LA PRESA HUAYLLUMAYO MEDIANTE LA CONSTRUCCION DE UN NUEVO EJE DE PRESA, DISTRITO Y PROVINCIA DE ESPINAR, DEPARTAMENTO DE CUSCO-2024"

Ubicación: HUAYLLUMAYO - ESPINAR

Solicita: Br. ANGEL MOLLEHUANCA PABLO, Br. JESUS QUISPE CARDENAS

Fecha Recepción: CUSCO, AGOSTO DEL 2024

Finalidad: EMS

Datos Muestra

Descripcion: Arena mal graduada

ASTM D-2487

SISTEMA UNIFICADO DE CLASIFICACIÓN DE SUELOS (SUCS)

DATOS PARA CLASIFICACIÓN	
De Granulometría	
% de Gruesos =	98.48%
% de Finos =	1.52%
Total =	100.00%
% de Grava =	5.92%
% de Arena =	92.55%
Total =	98.48%
Fracción Gruesa	
% de Grava =	6.01%
% de Arena =	93.99%
Total =	100.00%
Coefficientes	
Cu =	4.87
Cc =	0.585
De Límites de Consistencia	
LL =	22.00%
LP =	NO PRESENTA
IP =	NO PRESENTA
Otros Datos	
Tipo =	Inorgánico

CRITERIOS PARA LA ASIGNACIÓN DE SÍMBOLOS DE GRUPO Y NOMBRE DE GRUPO CON EL USO DE ENSAYOS DE LABORATORIO		SÍMBOLO	NOMBRE DE GRUPO	
SUELOS DE PARTÍCULAS GRUESAS Más del 50% es retenido en la malla Nº 200	GRAVAS Más del 50% de la fracción gruesa es retenida en la malla Nº 4	GRAVAS LIMPIAS Menos del 5% pasa la malla Nº 200	Cu \geq 4 y 1 \leq Cc \leq 3 GW Grava bien graduada Cu $<$ 4 ó 1 $>$ Cc $>$ 3 GP Grava mal graduada	
		GRAVAS CON FINOS Mas del 12% pasa la malla Nº 200	IP $<$ 4 ó abajo de la línea "A" en la carta de plasticidad GM Grava limosa IP $>$ 7 y arriba de la línea "A" en la carta de plasticidad GC Grava arcillosa	
		GRAVAS LIMPIAS Y CON FINOS Entre el 5 y 12% pasa malla Nº 200	4 \leq IP \leq 7 y arriba de la línea "A" en la carta de plasticidad GC - GM Grava limosa arcillosa Cumple los criterios para GW y GM GW - GM Grava bien graduada con limo Cumple los criterios para GW y GC o para GW y GC - GM GW - GC Grava bien graduada con arcilla	
		ARENAS LIMPIAS Menos del 5% pasa la malla Nº 200	Cu \geq 6 y 1 \leq Cc \leq 3 SW Arena bien graduada Cu $<$ 6 ó 1 $>$ Cc $>$ 3 SP Arena mal graduada	
		ARENAS CON FINOS Mas del 12% pasa la malla Nº 200	IP $<$ 4 ó abajo de la línea "A" en la carta de plasticidad SM Arena limosa IP $>$ 7 y arriba de la línea "A" en la carta de plasticidad SC Arena arcillosa	
		ARENAS LIMPIAS Y CON FINOS Entre el 5 y 12% pasa malla Nº 200	4 \leq IP \leq 7 y arriba de la línea "A" en la carta de plasticidad SC - SM Arena limosa arcillosa Cumple los criterios para SW y SM SW - SM Arena bien graduada con limo Cumple los criterios para SW y SC o para SW y SC - SM SW - SC Arena bien graduada con arcilla Cumple los criterios para SP y SM SP - SM Arena mal graduada con limo Cumple los criterios para SP y SC o para SP y SC - SM SP - SC Arena mal graduada con arcilla	
	SUELOS DE PARTÍCULAS FINAS El 50% o más pasa la malla Nº 200	LIMOS Y ARCILLAS Límite Líquido menor que 50	Inorgánicos IP $<$ 4 ó abajo de la línea "A" en la carta de plasticidad ML Limo de baja plasticidad IP $>$ 7 y arriba de la línea "A" en la carta de plasticidad CL Arcilla de baja plasticidad	
		LIMOS Y ARCILLAS Límite Líquido 50 o mayor	Inorgánicos 4 \leq IP \leq 7 y arriba de la línea "A" en la carta de plasticidad CL - ML Arcilla limosa Orgánicos Límite Líquido <i>secado al horno</i> Límite Líquido <i>no secado</i> $<$ 0.75 OL Limo orgánico Arcilla orgánica	
		LIMOS Y ARCILLAS Límite Líquido 50 o mayor	Inorgánicos Se grafica en la carta de plasticidad abajo de la línea "A" MH Limo de alta plasticidad Orgánicos Se grafica en la carta de plasticidad arriba de la línea "A" CH Arcilla de alta plasticidad	
		LIMOS Y ARCILLAS Límite Líquido 50 o mayor	Inorgánicos Límite Líquido <i>secado al horno</i> Límite Líquido <i>no secado</i> $<$ 0.75 OH Limo orgánico Arcilla orgánica	
		SUELOS ALTAMENTE ORGÁNICOS	Principalmente materia orgánica de color oscuro	Pt Turba

SP = Arena mal graduada

El Equipo ideal de Compactación que recomienda la ASTM para este tipo de suelo es: Tractor tipo oruga, rodillo de neumáticos



GEOINTEC J&H CONSULTORES S.A.C.

LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y MATERIALES. CONTROL DE CALIDAD Y ASISTENCIA TÉCNICA.

-ESTUDIO DE INGENIERÍA, CONSULTORÍA, SUPERVISIÓN Y EJECUCIÓN DE OBRAS CIVILES

URB. PATA PATA LIRCAY A-435, SAN JERONIMO-CUSCO-PERÚ

CEL: 964200692

DEPARTAMENTO DE GEOTECNIA

Proyecto: "EVALUACION GEOLÓGICA-GEOTÉCNICA DE FACTIBILIDAD PARA LA AMPLIACION DE LA PRESA HUAYLLUMAYO MEDIANTE LA CONSTRUCCION DE UN NUEVO EJE DE PRESA, DISTRITO Y PROVINCIA DE ESPINAR, DEPARTAMENTO DE CUSCO-2024"

Ubicación: HUAYLLUMAYO - ESPINAR

Solicita: Br. ANGEL MOLLEHUANCA PABLO, Br. JESUS QUISPE CARDENAS

Fecha Recepción: CUSCO, AGOSTO DEL 2024

Finalidad: EMS

Datos Muestra

Descripcion: Arena mal graduada

ASTM D-2487

SISTEMA UNIFICADO DE CLASIFICACIÓN DE SUELOS (SUCS)

DIAGRAMA DE CLASIFICACIÓN DE SUELOS DEL SISTEMA UNIFICADO DE CLASIFICACIÓN DE SUELOS

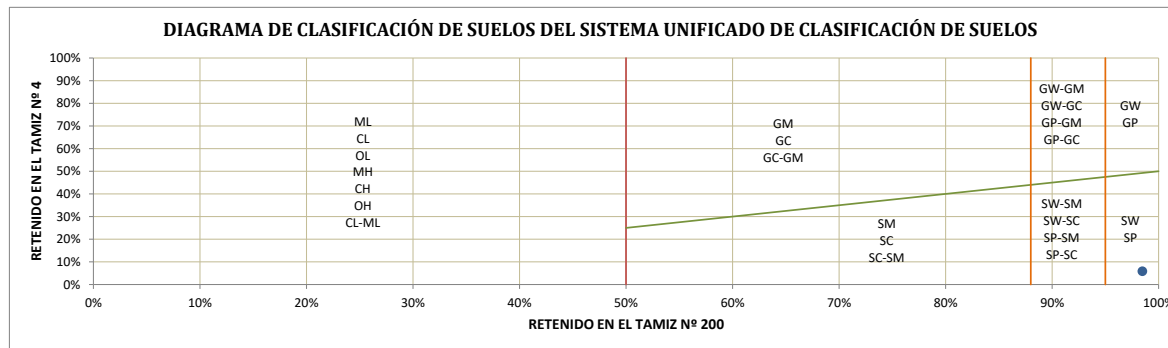
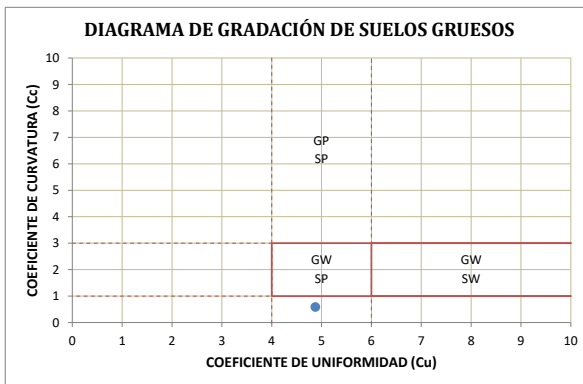
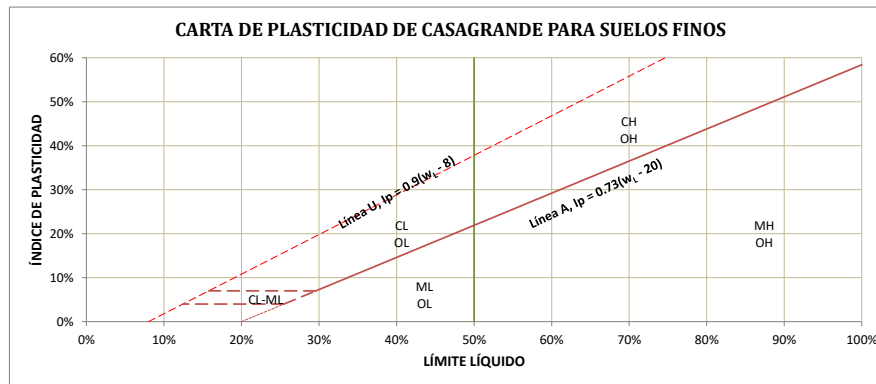


DIAGRAMA DE GRADACIÓN DE SUELOS GRUESOS



CARTA DE PLASTICIDAD DE CASAGRANDE PARA SUELOS FINOS





GEOINTEC J&H CONSULTORES S.AC.

LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y MATERIALES. CONTROL DE CALIDAD Y ASISTENCIA TÉCNICA.

-ESTUDIO DE INGENIERÍA, CONSULTORÍA, SUPERVISIÓN Y EJECUCIÓN DE OBRAS CIVILES

URB. PATA PATA LIRCAY A-435, SAN JERONIMO-CUSCO-PERÚ

CEL: 964200692

DEPARTAMENTO DE GEOTECNIA

Proyecto: "EVALUACION GEOLÓGICA-GEOTÉCNICA DE FACTIBILIDAD PARA LA AMPLIACION DE LA PRESA HUAYLLUMAYO MEDIANTE LA CONSTRUCCION DE UN NUEVO EJE DE PRESA, DISTRITO Y PROVINCIA DE ESPINAR, DEPARTAMENTO DE CUSCO-2024"

Ubicación: HUAYLLUMAYO - ESPINAR

Solicita: Br. ANGEL MOLLEHUANCA PABLO, Br. JESUS QUISPE CARDENAS

Fecha Recepción: CUSCO, AGOSTO DEL 2024

Finalidad: EMS

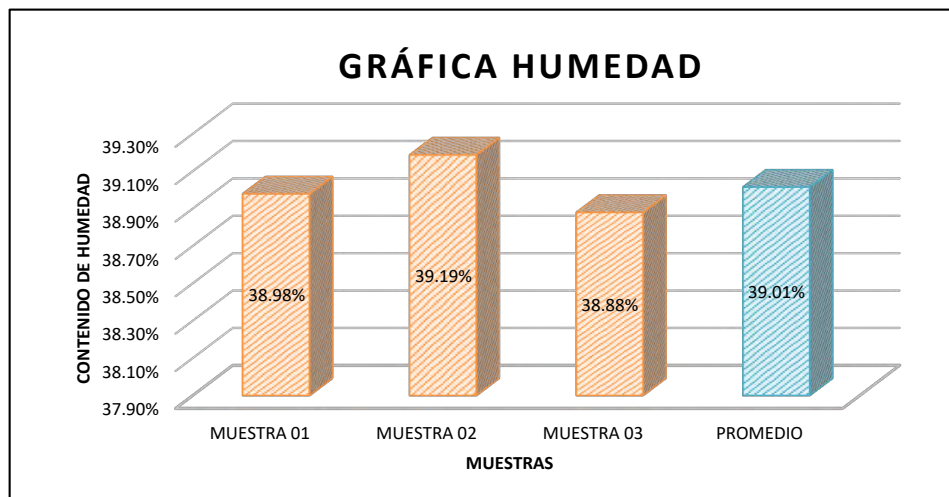
Datos Muestra

Descripcion: Arena mal graduada

MTC E 108-2016

CONTENIDO DE HUMEDAD DEL SUELO

DESCRIPCIÓN	MUESTRA 01	MUESTRA 02	MUESTRA 03
Peso de Capsula (gr)	19.14	15.49	16.50
Peso de Capsula + Muestra Húmeda (gr)	125.57	108.23	121.34
Peso de Capsula + Muestra Seca (gr)	95.72	82.12	91.99
Peso del Agua (gr)	29.85	26.11	29.35
Peso de la Muestra Seca (gr)	76.58	66.63	75.49
Contenido de Humedad	38.98%	39.19%	38.88%



CONTENIDO DE HUMEDAD NATURAL = 39.01%

observaciones: -Muestra tomadas en Campo por el Laboratorio



GEOINTEC J&H CONSULTORES S.A.C.
LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y MATERIALES. CONTROL DE CALIDAD Y ASISTENCIA TÉCNICA.

-ESTUDIO DE INGENIERÍA, CONSULTORÍA, SUPERVISIÓN Y EJECUCIÓN DE OBRAS CIVILES
 URB. PATA PATA LIRCAY A-435, SAN JERONIMO-CUSCO-PERÚ

CEL: 964200692

DEPARTAMENTO DE GEOTECNIA

Proyecto: "EVALUACION GEOLÓGICA-GEOTÉCNICA DE FACTIBILIDAD PARA LA AMPLIACION DE LA PRESA HUAYLLUMAYO MEDIANTE LA CONSTRUCCION DE UN NUEVO EJE DE PRESA, DISTRITO Y PROVINCIA DE ESPINAR, DEPARTAMENTO DE CUSCO-2024."

Ubicación: HUAYLLUMAYO - ESPINAR

Solicita: Br. ANGEL MOLLEHUANCA PABLO, Br. JESUS QUISPE CARDENAS

0

Fecha Recepción: CUSCO, AGOSTO DEL 2024

Finalidad: EMS

Datos Muestra

Descripcion: Arena mal graduada

MTC E 107-2016

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO

Antes del Lavado

Peso de la Muestra Seca = 591.00 gr

Despues del Lavado

Peso de la Muestra Seca = 582.00 gr

% de Error en Peso = 0.00% Ok!

TAMIZ	ABERTURA (mm)	PESO RETENIDO (gr)	PESO QUE PASA (gr)	% RETENIDO	% RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA
4"	100	0.00	582.0	0.00%	0.00%	100.00%
3"	75	0.00	582.00	0.00%	0.00%	100.00%
2"	50	0.00	582.00	0.00%	0.00%	100.00%
1½"	37.5	0.00	582.00	0.00%	0.00%	100.00%
1"	25	0.00	582.00	0.00%	0.00%	100.00%
¾"	19	0.00	582.00	0.00%	0.00%	100.00%
⅜"	9.5	10.00	572.00	1.69%	1.69%	98.31%
Nº 4	4.76	25.00	547.00	4.23%	5.92%	94.08%
Nº 10	2	63.00	484.00	10.66%	16.58%	83.42%
Nº 20	0.840	48.00	436.00	8.12%	24.70%	75.30%
Nº 40	0.425	152.00	284.00	25.72%	50.42%	49.58%
Nº 60	0.260	39.00	245.00	6.60%	57.02%	42.98%
Nº 140	0.106	217.00	28.00	36.72%	93.74%	6.26%
Nº 200	0.075	28.00	0.00	4.74%	98.48%	1.52%
Cazuela	-	0.00	-	0.00%	98.48%	-
Lavado	-	9.00	-	1.52%	100.00%	-

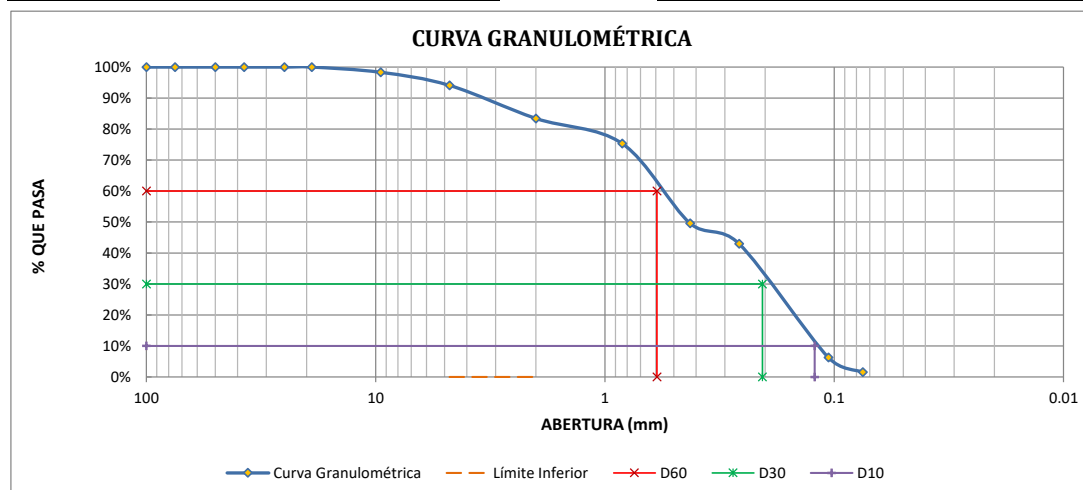
Total Fracción Retenida en Lavado = **582.00**

100.00%

Fracciones Retenidas	De la Fraccion Gruesa	Propiedades
% de Gravas(Ret.nº4) = 5.92%	% de grava = 6.01%	T. Max.Absoluto= ¾"
% de Arena (Pas Nº4-Ret Nº200)= 92.55%	% de arena = 93.99%	T. Max.Relativo= Nº 4
% de Finos(Pas Nº200)= 1.52%	Total = 100.00%	Clasf. SUCS= SP
Total= 100.00%		Clasif.AASHTO= A-1-b (0) =

Calculo del Coeficiente de Uniformidad (Cu)
D60 = 0.59 mm
D10 = 0.12 mm
Cu= 4.87

Calculo del Coeficiente de Curvatura (Cc)
D60 = 0.59 mm
D30 = 0.21 mm
D10 = 0.12 mm
Cc= 0.59



observaciones: -Muestra tomadas en Campo por el Laboratorio



GEOINTEC J&H CONSULTORES S.A.C.
LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y MATERIALES. CONTROL DE CALIDAD Y ASISTENCIA TÉCNICA.

-ESTUDIO DE INGENIERÍA, CONSULTORÍA, SUPERVISIÓN Y EJECUCIÓN DE OBRAS CIVILES
 URB. PATA PATA LIRCA Y A-435, SAN JERONIMO-CUSCO-PERÚ

CEL: 964200692

DEPARTAMENTO DE GEOTECNIA

Proyecto: "EVALUACION GEOLÓGICA-GEOTÉCNICA DE FACTIBILIDAD PARA LA AMPLIACION DE LA PRESA HUAYLLUMAYO MEDIANTE LA CONSTRUCCION DE UN NUEVO EJE DE PRESA, DISTRITO Y PROVINCIA DE ESPINAR, DEPARTAMENTO DE CUSCO-2024."

Ubicación: HUAYLLUMAYO - ESPINAR

Solicita: Br. ANGEL MOLLEHUANCA PABLO, Br. JESUS QUISPE CARDENAS

0

Fecha Recepción: CUSCO, AGOSTO DEL 2024

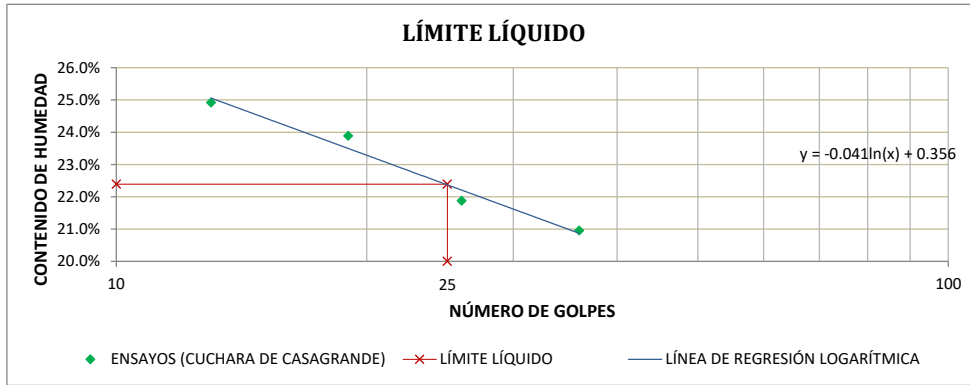
Finalidad: EMS

Datos Muestra

Descripcion: Arena mal graduada

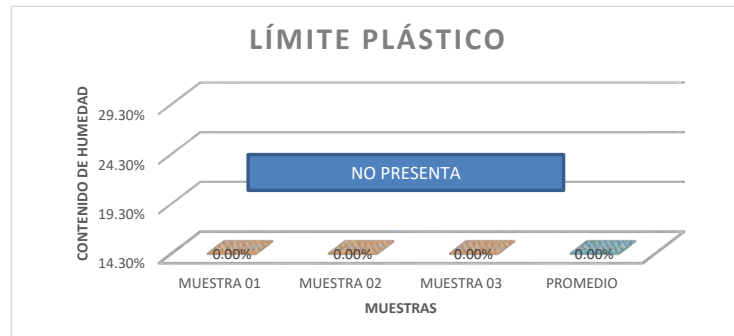
MTC E 110 - 2016 LÍMITE LÍQUIDO

DESCRIPCIÓN	MUESTRA 01	MUESTRA 02	MUESTRA 03	MUESTRA 04
Peso de Capsula (gr)	11.88	10.81	8.08	10.82
Peso de Capsula + Muestra Húmeda (gr)	18.23	22.12	19.49	18.54
Peso de Capsula + Muestra Seca (gr)	17.13	20.09	17.29	17.00
Peso del Agua (gr)	1.10	2.03	2.20	1.54
Peso de la Muestra Seca (gr)	5.25	9.28	9.21	6.18
Contenido de Humedad	20.95%	21.88%	23.89%	24.92%
Número de Golpes	36	26	19	13



MTC E 111 - 2016 LÍMITE PLÁSTICO

DESCRIPCIÓN	MUESTRA 01	MUESTRA 02	MUESTRA 03
Peso de Capsula (gr)	0.00	0.00	0.00
Peso de Capsula + Muestra Húmeda (gr)	0.00	0.00	0.00
Peso de Capsula + Muestra Seca (gr)	0.00	0.00	0.00
Peso del Agua (gr)	0.00	0.00	0.00
Peso de la Muestra Seca (gr)	0.00	0.00	0.00
Contenido de Humedad	0.00%	0.00%	0.00%



LÍMITE LÍQUIDO = 22.00%
LÍMITE PLÁSTICO = NO PRESENTA
ÍNDICE DE PLASTICIDAD = NO PRESENTA

observaciones: -Muestra tomadas en Campo por el Laboratorio



GEOINTEC J&H CONSULTORES S.A.C.
LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y MATERIALES. CONTROL DE CALIDAD Y ASISTENCIA TÉCNICA.

-ESTUDIO DE INGENIERÍA, CONSULTORÍA, SUPERVISIÓN Y EJECUCIÓN DE OBRAS CIVILES
 URB. PATA PATA LIRCAY A-435, SAN JERONIMO-CUSCO-PERÚ CEL: 964200692

DEPARTAMENTO DE GEOTECNIA

Proyecto: "EVALUACION GEOLÓGICA-GEOTÉCNICA DE FACTIBILIDAD PARA LA AMPLIACION DE LA PRESA HUAYLLUMAYO MEDIANTE LA CONSTRUCCION DE UN NUEVO EJE DE PRESA, DISTRITO Y PROVINCIA DE ESPINAR, DEPARTAMENTO DE CUSCO-2024."

Ubicación: HUAYLLUMAYO - ESPINAR

Solicita: Br. ANGEL MOLLEHUANCA PABLO, Br. JESUS QUISPE CARDENAS

Fecha Recepción: CUSCO, AGOSTO DEL 2024

Finalidad: EMS

Datos Muestra

Descripcion: Arena mal graduada

ASTM D-2487 SISTEMA UNIFICADO DE CLASIFICACIÓN DE SUELOS (SUCS)

DATOS PARA CLASIFICACIÓN	
De Granulometría	
% de Gruesos =	98.48%
% de Finos =	1.52%
Total =	100.00%
% de Grava =	5.92%
% de Arena =	92.55%
Total =	98.48%
Fracción Gruesa	
% de Grava =	6.01%
% de Arena =	93.99%
Total =	100.00%
Coefficientes	
Cu =	4.87
Cc =	0.585
De Límites de Consistencia	
LL =	22.00%
LP =	NO PRESENTA
IP =	NO PRESENTA
Otros Datos	
Tipo =	Inorgánico

CRITERIOS PARA LA ASIGNACIÓN DE SÍMBOLOS DE GRUPO Y NOMBRE DE GRUPO CON EL USO DE ENSAYOS DE LABORATORIO		SÍMBOLO	NOMBRE DE GRUPO
SUELOS DE PARTÍCULAS GRUESAS Más del 50% es retenido en la malla Nº 200	GRAVAS Más del 50% de la fracción gruesa es retenida en la malla Nº 4	GRAVAS LIMPIAS Menos del 5% pasa la malla Nº 200	Cu \geq 4 y 1 \leq Cc \leq 3 GW Grava bien graduada Cu $<$ 4 ó 1 $>$ Cc $>$ 3 GP Grava mal graduada
		GRAVAS CON FINOS Mas del 12% pasa la malla Nº 200	IP $<$ 4 ó abajo de la línea "A" en la carta de plasticidad GM Grava limosa IP $>$ 7 y arriba de la línea "A" en la carta de plasticidad GC Grava arcillosa
		GRAVAS LIMPIAS Y CON FINOS Entre el 5 y 12% pasa malla Nº 200	4 \leq IP \leq 7 y arriba de la línea "A" en la carta de plasticidad GC - GM Grava limosa arcillosa Cumple los criterios para GW y GM GW - GM Grava bien graduada con limo Cumple los criterios para GW y GC o para GW y GC - GM GW - GC Grava bien graduada con arcilla
		ARENAS LIMPIAS Menos del 5% pasa la malla Nº 200	Cu \geq 6 y 1 \leq Cc \leq 3 SW Arena bien graduada Cu $<$ 6 ó 1 $>$ Cc $>$ 3 SP Arena mal graduada
		ARENAS CON FINOS Mas del 12% pasa la malla Nº 200	IP $<$ 4 ó abajo de la línea "A" en la carta de plasticidad SM Arena limosa IP $>$ 7 y arriba de la línea "A" en la carta de plasticidad SC Arena arcillosa 4 \leq IP \leq 7 y arriba de la línea "A" en la carta de plasticidad SC - SM Arena limosa arcillosa
		ARENAS LIMPIAS Y CON FINOS Entre el 5 y 12% pasa malla Nº 200	Cumple los criterios para SW y SM SW - SM Arena bien graduada con limo Cumple los criterios para SW y SC o para SW y SC - SM SW - SC Arena bien graduada con arcilla Cumple los criterios para SP y SM SP - SM Arena mal graduada con limo Cumple los criterios para SP y SC o para SP y SC - SM SP - SC Arena mal graduada con arcilla
	SUELOS DE PARTÍCULAS FINAS El 50% o más pasa la malla Nº 200	LIMOS Y ARCILLAS Límite Líquido menor que 50	Inorgánicos IP $<$ 4 ó abajo de la línea "A" en la carta de plasticidad ML Limo de baja plasticidad IP $>$ 7 y arriba de la línea "A" en la carta de plasticidad CL Arcilla de baja plasticidad 4 \leq IP \leq 7 y arriba de la línea "A" en la carta de plasticidad CL - ML Arcilla limosa
		LIMOS Y ARCILLAS Límite Líquido 50 o mayor	Inorgánicos Se grafica en la carta de plasticidad abajo de la línea "A" MH Limo de alta plasticidad Se grafica en la carta de plasticidad arriba de la línea "A" CH Arcilla de alta plasticidad
			Orgánicos Límite Líquido <i>secado al horno</i> $<$ 0.75 OL Limo orgánico Límite Líquido <i>no secado</i> $<$ 0.75 OH Limo orgánico
			Orgánicos Límite Líquido <i>secado al horno</i> $<$ 0.75 OH Limo orgánico Límite Líquido <i>no secado</i> $<$ 0.75 OH Arcilla orgánica
			Orgánicos Límite Líquido <i>secado al horno</i> $<$ 0.75 OH Limo orgánico Límite Líquido <i>no secado</i> $<$ 0.75 OH Arcilla orgánica
			Orgánicos Límite Líquido <i>secado al horno</i> $<$ 0.75 OH Limo orgánico Límite Líquido <i>no secado</i> $<$ 0.75 OH Arcilla orgánica
SUELOS ALTAMENTE ORGÁNICOS	Principalmente materia orgánica de color oscuro	Pt	Turba

SP = Arena mal graduada

El Equipo ideal de Compactación que recomienda la ASTM para este tipo de suelo es: Tractor tipo oruga, rodillo de neumáticos



GEOINTEC J&H CONSULTORES S.A.C.
LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y MATERIALES. CONTROL DE CALIDAD Y ASISTENCIA TÉCNICA.
-ESTUDIO DE INGENIERÍA, CONSULTORÍA, SUPERVISIÓN Y EJECUCIÓN DE OBRAS CIVILES
URB. PATA PATA LIRCAY A-435, SAN JERONIMO-CUSCO-PERÚ CEL: 964200692

DEPARTAMENTO DE GEOTECNIA

Proyecto: "EVALUACIÓN GEOLOGICA-GEOTÉCNICA DE FACTIBILIDAD PARA LA AMPLIACIÓN DE LA PRESA HUAYLLUMAYO MEDIANTE LA CONSTRUCCIÓN DE UN NUEVO EJE DE PRESA, DISTRITO Y PROVINCIA DE ESPINAR, DEPARTAMENTO DE CUSCO-2024."

Ubicación: HUAYLLUMAYO - ESPINAR

Solicita: Br. ANGEL MOLLEHUANCA PABLO, Br. JESUS QUISPE CARDENAS

Fecha Recepción: CUSCO, AGOSTO DEL 2024

Finalidad: EMS

Datos Muestra

Descripción: Arena mal graduada

ASTM D-2487

SISTEMA UNIFICADO DE CLASIFICACIÓN DE SUELOS (SUCS)

DIAGRAMA DE CLASIFICACIÓN DE SUELOS DEL SISTEMA UNIFICADO DE CLASIFICACIÓN DE SUELOS

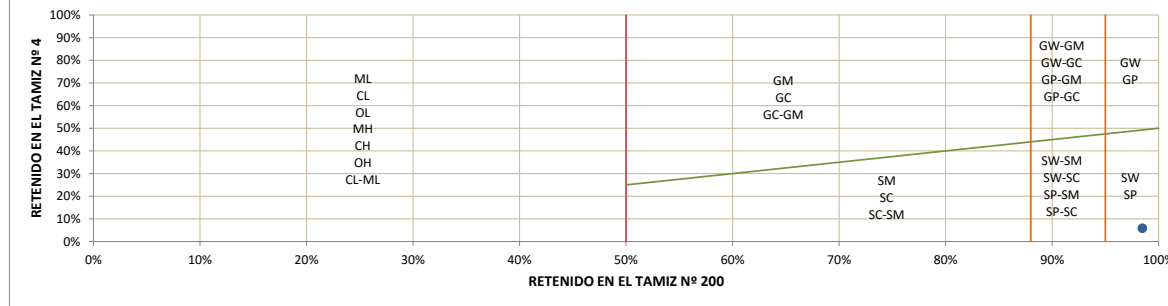
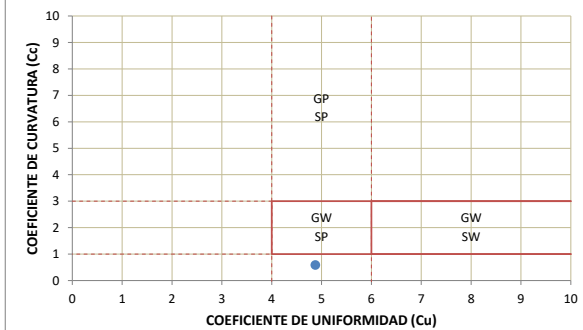
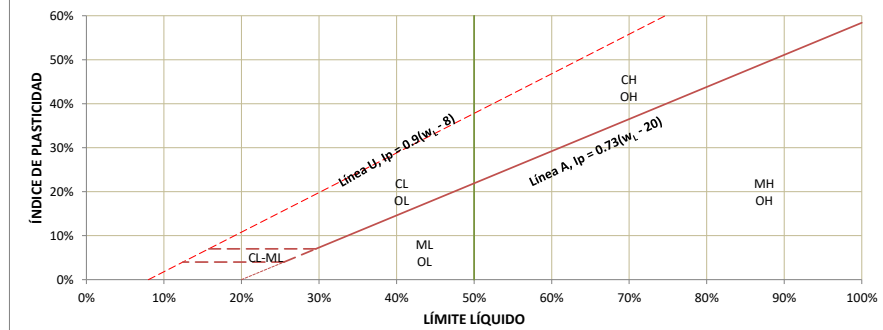


DIAGRAMA DE GRADACIÓN DE SUELOS GRUESOS



CARTA DE PLASTICIDAD DE CASAGRANDE PARA SUELOS FINOS





GEOINTEC J&H CONSULTORES S.AC.

LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y MATERIALES. CONTROL DE CALIDAD Y ASISTENCIA TÉCNICA.

-ESTUDIO DE INGENIERÍA, CONSULTORÍA, SUPERVISIÓN Y EJECUCIÓN DE OBRAS CIVILES

URB. PATA PATA LIRCAY A-435, SAN JERONIMO-CUSCO-PERÚ

CEL: 964200692

DEPARTAMENTO DE GEOTECNIA

Proyecto: "EVALUACION GEOLÓGICA-GEOTÉCNICA DE FACTIBILIDAD PARA LA AMPLIACION DE LA PRESA HUAYLLUMAYO MEDIANTE LA CONSTRUCCION DE UN NUEVO EJE DE PRESA, DISTRITO Y PROVINCIA DE ESPINAR, DEPARTAMENTO DE CUSCO-2024."

Ubicación: HUAYLLUMAYO - ESPINAR

Solicita: Br. ANGEL MOLLEHUANCA PABLO, Br. JESUS QUISPE CARDENAS

Fecha Recepción: CUSCO, AGOSTO DEL 2024

Finalidad: EMS

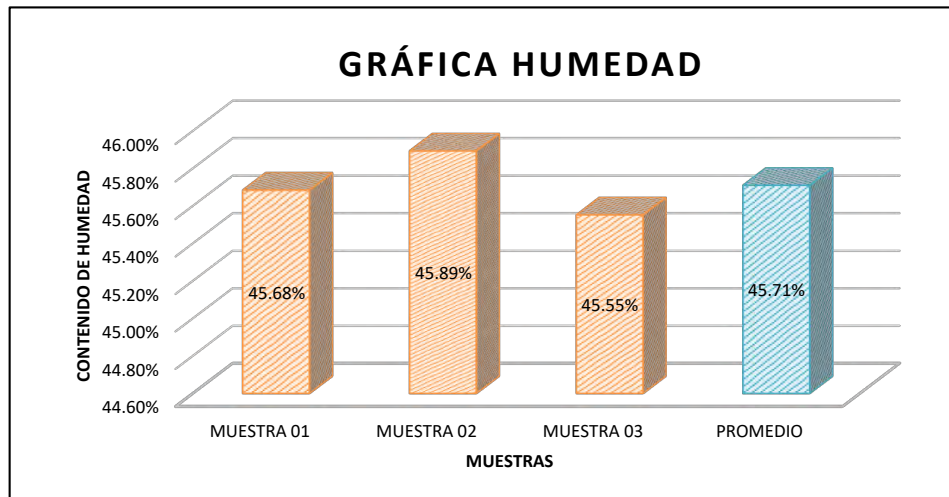
Datos Muestra

Descripcion: Grava mal graduada con arena

MTC E 108-2016

CONTENIDO DE HUMEDAD DEL SUELO

DESCRIPCIÓN	MUESTRA 01	MUESTRA 02	MUESTRA 03
Peso de Capsula (gr)	17.01	19.49	15.11
Peso de Capsula + Muestra Húmeda (gr)	101.74	112.22	98.89
Peso de Capsula + Muestra Seca (gr)	75.17	83.05	72.67
Peso del Agua (gr)	26.57	29.17	26.22
Peso de la Muestra Seca (gr)	58.16	63.56	57.56
Contenido de Humedad	45.68%	45.89%	45.55%



CONTENIDO DE HUMEDAD NATURAL = 45.71%

observaciones: -Muestra tomadas en Campo por el Laboratorio



GEOINTEC J&H CONSULTORES S.AC.
LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y MATERIALES. CONTROL DE CALIDAD Y ASISTENCIA TÉCNICA.

-ESTUDIO DE INGENIERÍA, CONSULTORÍA, SUPERVISIÓN Y EJECUCIÓN DE OBRAS CIVILES
 URB. PATA PATA LIRCAY A-435, SAN JERONIMO-CUSCO-PERÚ

CEL: 964200692

DEPARTAMENTO DE GEOTECNIA

Proyecto: "EVALUACION GEOLÓGICA-GEOTÉCNICA DE FACTIBILIDAD PARA LA AMPLIACION DE LA PRESA HUAYLLUMAYO MEDIANTE LA CONSTRUCCION DE UN NUEVO EJE DE PRESA, DISTRITO Y PROVINCIA DE ESPINAR, DEPARTAMENTO DE CUSCO-2024."

Ubicación: HUAYLLUMAYO - ESPINAR

Solicita: Br. ANGEL MOLLEHUANCA PABLO, Br. JESUS QUISPE CARDENAS

0

Fecha Recepción: CUSCO, AGOSTO DEL 2024

Finalidad: EMS

Datos Muestra

Descripcion: Grava mal graduada con arena

MTC E 107-2016

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO

Antes del Lavado

Peso de la Muestra Seca = 3846.59 gr

Despues del Lavado

Peso de la Muestra Seca = 3679.76 gr

% de Error en Peso = 0.00%

Ok!

TAMIZ	ABERTURA (mm)	PESO RETENIDO (gr)	PESO QUE PASA (gr)	% RETENIDO	% RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA
4"	100	0.00	3679.8	0.00%	0.00%	100.00%
3"	75	0.00	3679.76	0.00%	0.00%	100.00%
2"	50	645.37	3034.39	16.78%	16.78%	83.22%
1½"	37.5	678.12	2356.27	17.63%	34.41%	65.59%
1"	25	421.12	1935.15	10.95%	45.35%	54.65%
¾"	19	312.56	1622.59	8.13%	53.48%	46.52%
⅜"	9.5	468.32	1154.27	12.17%	65.66%	34.34%
Nº 4	4.76	241.32	912.95	6.27%	71.93%	28.07%
Nº 10	2	197.15	715.80	5.13%	77.05%	22.95%
Nº 20	0.840	178.65	537.15	4.64%	81.70%	18.30%
Nº 40	0.425	301.24	235.91	7.83%	89.53%	10.47%
Nº 60	0.260	38.46	197.45	1.00%	90.53%	9.47%
Nº 140	0.106	156.22	41.23	4.06%	94.59%	5.41%
Nº 200	0.075	37.11	4.12	0.96%	95.56%	4.44%
Cazuela	-	4.12	-	0.11%	95.66%	-
Lavado	-	166.83	-	4.34%	99.89%	-

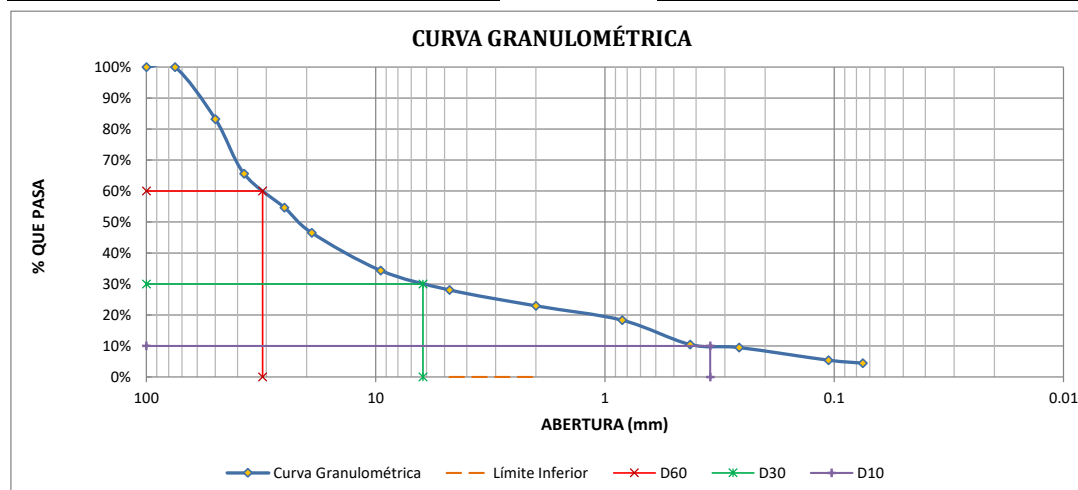
Total Fracción Retenida en Lavado = **3679.76**

100.00%

Fracciones Retenidas	De la Fraccion Gruesa	Propiedades
% de Gravas(Ret.nº4) = 71.93%	% de grava = 75.27%	T. Max.Absoluto= 3"
% de Arena (Pas Nº4-Ret Nº200)= 23.63%	% de arena = 24.73%	T. Max.Relativo= 2"
% de Finos(Pas Nº200)= 4.44%	Total = 100.00%	Clasf. SUCS= GP
Total= 100.00%		Clasif.AASHTO= A-1-a (0) =

Calculo del Coeficiente de Uniformidad (Cu)
D60 = 31.11 mm
D10 = 0.35 mm
Cu= 89.55

Calculo del Coeficiente de Curvatura (Cc)
D60 = 31.11 mm
D30 = 6.22 mm
D10 = 0.35 mm
Cc= 3.58



observaciones: -Muestra tomadas en Campo por el Laboratorio



GEOINTEC J&H CONSULTORES S.A.C.
LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y MATERIALES. CONTROL DE CALIDAD Y ASISTENCIA TÉCNICA.

-ESTUDIO DE INGENIERÍA, CONSULTORÍA, SUPERVISIÓN Y EJECUCIÓN DE OBRAS CIVILES
 URB. PATA PATA LIRCA Y A-435, SAN JERONIMO-CUSCO-PERÚ

CEL: 964200692

DEPARTAMENTO DE GEOTECNIA

Proyecto: "EVALUACION GEOLÓGICA-GEOTÉCNICA DE FACTIBILIDAD PARA LA AMPLIACION DE LA PRESA HUAYLLUMAYO MEDIANTE LA CONSTRUCCION DE UN NUEVO EJE DE PRESA, DISTRITO Y PROVINCIA DE ESPINAR, DEPARTAMENTO DE CUSCO-2024."

Ubicación: HUAYLLUMAYO - ESPINAR

Solicita: Br. ANGEL MOLLEHUANCA PABLO, Br. JESUS QUISPE CARDENAS

0

Fecha Recepción: CUSCO, AGOSTO DEL 2024

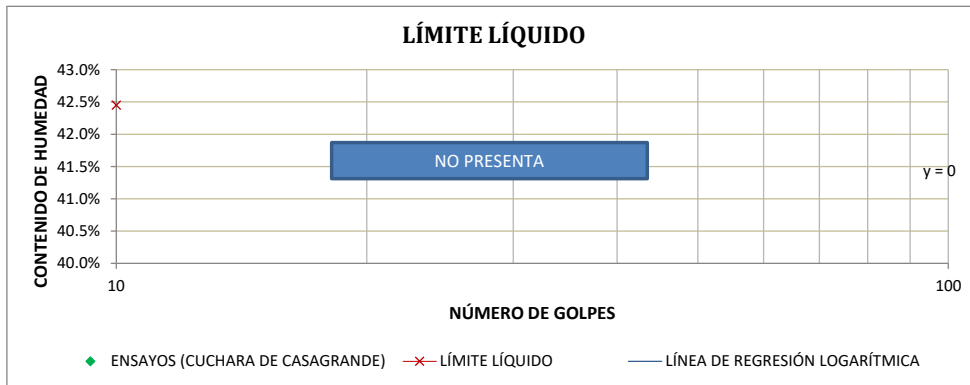
Finalidad: EMS

Datos Muestra

Descripcion: Grava mal graduada con arena

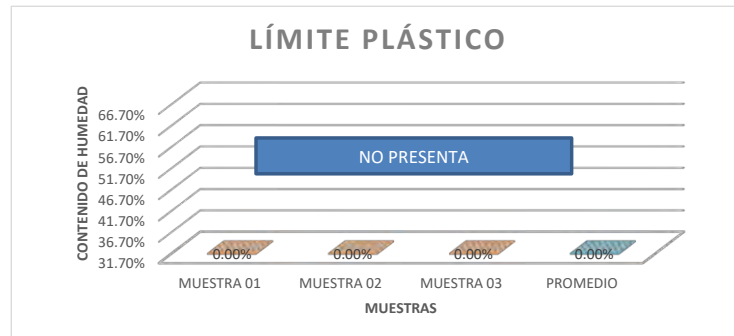
MTC E 110 - 2016 LÍMITE LÍQUIDO

DESCRIPCIÓN	MUESTRA 01	MUESTRA 02	MUESTRA 03	MUESTRA 04
Peso de Capsula (gr)	0.00	0.00	0.00	0.00
Peso de Capsula + Muestra Húmeda (gr)	0.00	0.00	0.00	0.00
Peso de Capsula + Muestra Seca (gr)	0.00	0.00	0.00	0.00
Peso del Agua (gr)	0.00	0.00	0.00	0.00
Peso de la Muestra Seca (gr)	0.00	0.00	0.00	0.00
Contenido de Humedad	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
Número de Golpes	36	26	19	13



MTC E 111 - 2016 LÍMITE PLÁSTICO

DESCRIPCIÓN	MUESTRA 01	MUESTRA 02	MUESTRA 03
Peso de Capsula (gr)	0.00	0.00	0.00
Peso de Capsula + Muestra Húmeda (gr)	0.00	0.00	0.00
Peso de Capsula + Muestra Seca (gr)	0.00	0.00	0.00
Peso del Agua (gr)	0.00	0.00	0.00
Peso de la Muestra Seca (gr)	0.00	0.00	0.00
Contenido de Humedad	0.00%	0.00%	0.00%



LÍMITE LÍQUIDO = NO PRESENTA
LÍMITE PLÁSTICO = NO PRESENTA
ÍNDICE DE PLASTICIDAD = NO PRESENTA

observaciones: -Muestra tomadas en Campo por el Laboratorio



GEOINTEC J&H CONSULTORES S.A.C.
LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y MATERIALES. CONTROL DE CALIDAD Y ASISTENCIA TÉCNICA.
 -ESTUDIO DE INGENIERÍA, CONSULTORÍA, SUPERVISIÓN Y EJECUCIÓN DE OBRAS CIVILES
 URB. PATA PATA LIRCAY A-435, SAN JERONIMO-CUSCO-PERÚ CEL: 964200692

DEPARTAMENTO DE GEOTECNIA

Proyecto: "EVALUACION GEOLÓGICA-GEOTÉCNICA DE FACTIBILIDAD PARA LA AMPLIACION DE LA PRESA HUAYLLUMAYO MEDIANTE LA CONSTRUCCION DE UN NUEVO EJE DE PRESA, DISTRITO Y PROVINCIA DE ESPINAR, DEPARTAMENTO DE CUSCO-2024."

Ubicación: HUAYLLUMAYO - ESPINAR

Solicita: Br. ANGEL MOLLEHUANCA PABLO, Br. JESUS QUISPE CARDENAS

Fecha Recepción: CUSCO, AGOSTO DEL 2024

Finalidad: EMS

Datos Muestra

Descripcion: Grava mal graduada con arena

ASTM D-2487 SISTEMA UNIFICADO DE CLASIFICACIÓN DE SUELOS (SUCS)

DATOS PARA CLASIFICACIÓN	
De Granulometría	
% de Gruesos =	95.56%
% de Finos =	4.44%
Total =	100.00%
% de Grava =	71.93%
% de Arena =	23.63%
Total =	95.56%
Fracción Gruesa	
% de Grava =	75.27%
% de Arena =	24.73%
Total =	100.00%
Coefficientes	
Cu =	89.55
Cc =	3.576
De Límites de Consistencia	
LL =	NO PRESENTA
LP =	NO PRESENTA
IP =	NO PRESENTA
Otros Datos	
Tipo =	Inorgánico

CRITERIOS PARA LA ASIGNACIÓN DE SÍMBOLOS DE GRUPO Y NOMBRE DE GRUPO CON EL USO DE ENSAYOS DE LABORATORIO		SÍMBOLO	NOMBRE DE GRUPO	
SUELOS DE PARTÍCULAS GRUESAS Más del 50% es retenido en la malla Nº 200	GRAVAS Más del 50% de la fracción gruesa es retenida en la malla Nº 4	GRAVAS LIMPIAS Menos del 5% pasa la malla Nº 200	Cu ≥ 4 y 1 ≤ Cc ≤ 3 GW Grava bien graduada	
		GRAVAS CON FINOS Mas del 12% pasa la malla Nº 200	Cu < 4 ó 1 > Cc > 3 GP Grava mal graduada	
		GRAVAS LIMPIAS Y CON FINOS Entre el 5 y 12% pasa malla Nº 200	IP < 4 ó abajo de la línea "A" en la carta de plasticidad	GM Grava limosa
			IP > 7 y arriba de la línea "A" en la carta de plasticidad	GC Grava arcillosa
			4 ≤ IP ≤ 7 y arriba de la línea "A" en la carta de plasticidad	GC - GM Grava limosa arcillosa
			Cumple los criterios para GW y GM	GW - GM Grava bien graduada con limo
	ARENAS El 50% o más de la fracción gruesa pasa la malla Nº 4	ARENAS LIMPIAS Menos del 5% pasa la malla Nº 200	Cumple los criterios para GW y GC o para GW y GC - GM	GW - GC Grava bien graduada con arcilla
			Cumple los criterios para GP y GM	GP - GM Grava mal graduada con limo
		ARENAS CON FINOS Mas del 12% pasa la malla Nº 200	Cumple los criterios para GP y GC o para GP y GC - GM	GP - GC Grava mal graduada con arcilla
			IP < 4 ó abajo de la línea "A" en la carta de plasticidad	SM Arena limosa
			IP > 7 y arriba de la línea "A" en la carta de plasticidad	SC Arena arcillosa
			4 ≤ IP ≤ 7 y arriba de la línea "A" en la carta de plasticidad	SC - SM Arena limosa arcillosa
SUELOS DE PARTÍCULAS FINAS El 50% o más pasa la malla Nº 200	LIMOS Y ARCILLAS Límite Líquido menor que 50	Cumple los criterios para SW y SM	SW - SM Arena bien graduada con limo	
		Cumple los criterios para SW y SC o para SW y SC - SM	SW - SC Arena bien graduada con arcilla	
	LIMOS Y ARCILLAS Límite Líquido 50 o mayor	Cumple los criterios para SP y SM	SP - SM Arena mal graduada con limo	
		Cumple los criterios para SP y SC o para SP y SC - SM	SP - SC Arena mal graduada con arcilla	
		IP < 4 ó abajo de la línea "A" en la carta de plasticidad	ML Limo de baja plasticidad	
		IP > 7 y arriba de la línea "A" en la carta de plasticidad	CL Arcilla de baja plasticidad	
		4 ≤ IP ≤ 7 y arriba de la línea "A" en la carta de plasticidad	CL - ML Arcilla limosa	
		Límite Líquido <i>secado al horno</i> < 0.75	OL Limo orgánico	
		Límite Líquido <i>no secado</i> < 0.75	OH Arcilla orgánica	
		Se grafica en la carta de plasticidad abajo de la línea "A"	MH Limo de alta plasticidad	
Se grafica en la carta de plasticidad arriba de la línea "A"	CH Arcilla de alta plasticidad			
SUELOS ALTAMENTE ORGÁNICOS	Principalmente materia orgánica de color oscuro	Pt	Turba	

GP = Grava mal graduada con arena

El Equipo ideal de Compactación que recomienda la ASTM para este tipo de suelo es: Tractor tipo oruga, rodillo de neumáticos, rodillo con ruedas de acero



GEOINTEC J&H CONSULTORES S.A.C.

LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y MATERIALES. CONTROL DE CALIDAD Y ASISTENCIA TÉCNICA.

-ESTUDIO DE INGENIERÍA, CONSULTORÍA, SUPERVISIÓN Y EJECUCIÓN DE OBRAS CIVILES
URB. PATA PATA LIRCAY A-435, SAN JERONIMO-CUSCO-PERÚ

CEL: 964200692

DEPARTAMENTO DE GEOTECNIA

Proyecto: "EVALUACION GEOLÓGICA-GEOTÉCNICA DE FACTIBILIDAD PARA LA AMPLIACION DE LA PRESA HUAYLLUMAYO MEDIANTE LA CONSTRUCCION DE UN NUEVO EJE DE PRESA, DISTRITO Y PROVINCIA DE ESPINAR, DEPARTAMENTO DE CUSCO-2024."

Ubicación: HUAYLLUMAYO - ESPINAR

Solicita: Br. ANGEL MOLLEHUANCA PABLO, Br. JESUS QUISPE CARDENAS

Fecha Recepción: CUSCO, AGOSTO DEL 2024

Finalidad: EMS

Datos Muestra

Descripción: Grava mal graduada con arena

ASTM D-2487

SISTEMA UNIFICADO DE CLASIFICACIÓN DE SUELOS (SUCS)

DIAGRAMA DE CLASIFICACIÓN DE SUELOS DEL SISTEMA UNIFICADO DE CLASIFICACIÓN DE SUELOS

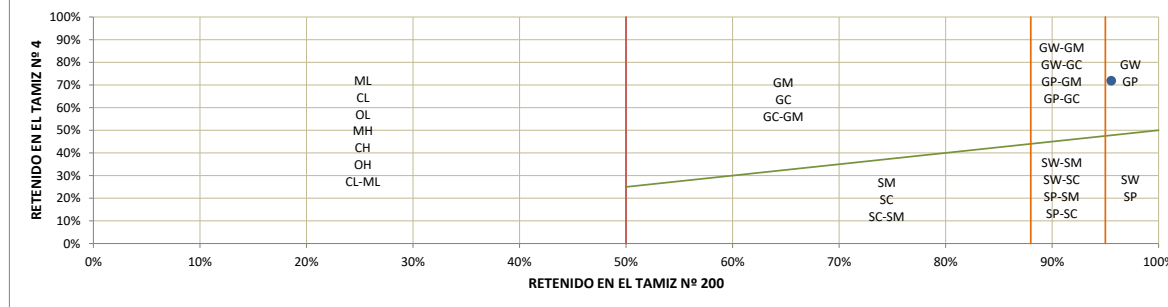
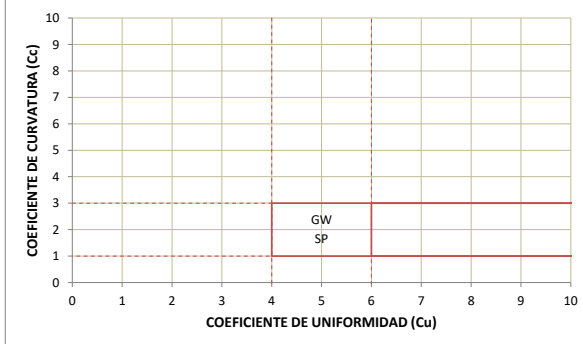
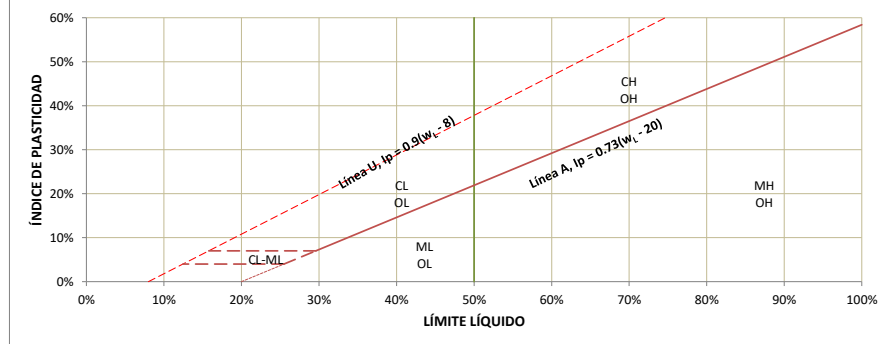


DIAGRAMA DE GRADACIÓN DE SUELOS GRUESOS



CARTA DE PLASTICIDAD DE CASAGRANDE PARA SUELOS FINOS





GEOINTEC J&H CONSULTORES S.AC.

LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y MATERIALES. CONTROL DE CALIDAD Y ASISTENCIA TÉCNICA.

-ESTUDIO DE INGENIERÍA, CONSULTORÍA, SUPERVISIÓN Y EJECUCIÓN DE OBRAS CIVILES

URB. PATA PATA LIRCAY A-435, SAN JERONIMO-CUSCO-PERÚ

CEL: 964200692

DEPARTAMENTO DE GEOTECNIA

Proyecto: "EVALUACION GEOLÓGICA-GEOTÉCNICA DE FACTIBILIDAD PARA LA AMPLIACION DE LA PRESA HUAYLLUMAYO MEDIANTE LA CONSTRUCCION DE UN NUEVO EJE DE PRESA, DISTRITO Y PROVINCIA DE ESPINAR, DEPARTAMENTO DE CUSCO-2024."

Ubicación: HUAYLLUMAYO - ESPINAR

Solicita: Br. ANGEL MOLLEHUANCA PABLO, Br. JESUS QUISPE CARDENAS

Fecha Recepción: CUSCO, AGOSTO DEL 2024

Finalidad: EMS

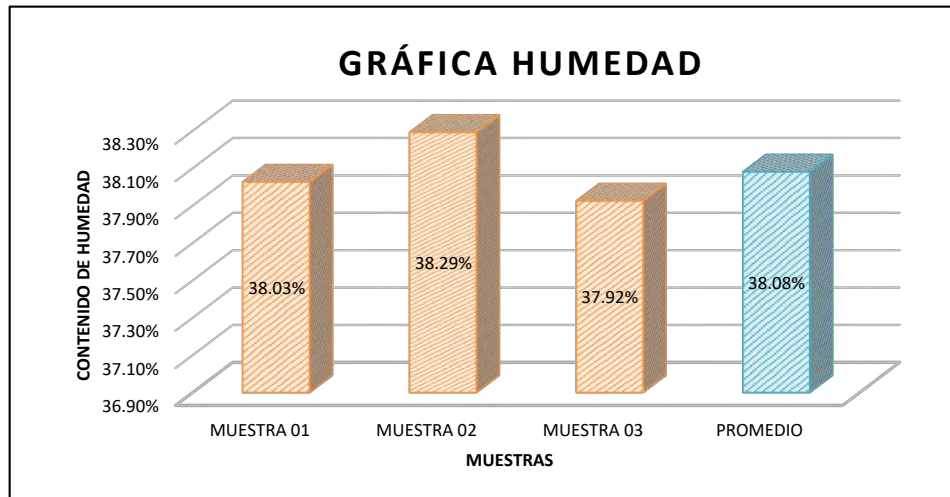
Datos Muestra

Descripcion: Grava mal graduada con arcilla limosa y arena

MTC E 108-2016

CONTENIDO DE HUMEDAD DEL SUELO

DESCRIPCIÓN	MUESTRA 01	MUESTRA 02	MUESTRA 03
Peso de Capsula (gr)	16.58	18.49	17.32
Peso de Capsula + Muestra Húmeda (gr)	107.47	91.01	115.55
Peso de Capsula + Muestra Seca (gr)	82.43	70.93	88.54
Peso del Agua (gr)	25.04	20.08	27.01
Peso de la Muestra Seca (gr)	65.85	52.44	71.22
Contenido de Humedad	38.03%	38.29%	37.92%



CONTENIDO DE HUMEDAD NATURAL = 38.08%

observaciones: -Muestra tomadas en Campo por el Laboratorio



GEOINTEC J&H CONSULTORES S.AC.
LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y MATERIALES. CONTROL DE CALIDAD Y ASISTENCIA TÉCNICA.

-ESTUDIO DE INGENIERÍA, CONSULTORÍA, SUPERVISIÓN Y EJECUCIÓN DE OBRAS CIVILES
 URB. PATA PATA LIRCAY A-435, SAN JERONIMO-CUSCO-PERÚ

CEL: 964200692

DEPARTAMENTO DE GEOTECNIA

Proyecto: "EVALUACION GEOLÓGICA-GEOTÉCNICA DE FACTIBILIDAD PARA LA AMPLIACION DE LA PRESA HUAYLLUMAYO MEDIANTE LA CONSTRUCCION DE UN NUEVO EJE DE PRESA, DISTRITO Y PROVINCIA DE ESPINAR, DEPARTAMENTO DE CUSCO-2024."

Ubicación: HUAYLLUMAYO - ESPINAR

Solicita: Br. ANGEL MOLLEHUANCA PABLO, Br. JESUS QUISPE CARDENAS

0

Fecha Recepción: CUSCO, AGOSTO DEL 2024

Finalidad: EMS

Datos Muestra

Descripcion: Grava mal graduada con arcilla limosa y arena

MTC E 107-2016

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO

Antes del Lavado

Peso de la Muestra Seca = 3904.03 gr

Despues del Lavado

Peso de la Muestra Seca = 3611.60 gr

% de Error en Peso = 0.00% Ok!

TAMIZ	ABERTURA (mm)	PESO RETENIDO (gr)	PESO QUE PASA (gr)	% RETENIDO	% RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA
4"	100	0.00	3611.6	0.00%	0.00%	100.00%
3"	75	0.00	3611.60	0.00%	0.00%	100.00%
2"	50	637.80	2973.80	16.34%	16.34%	83.66%
1½"	37.5	730.40	2243.40	18.71%	35.05%	64.95%
1"	25	330.30	1913.10	8.46%	43.51%	56.49%
¾"	19	328.00	1585.10	8.40%	51.91%	48.09%
⅜"	9.5	458.10	1127.00	11.73%	63.64%	36.36%
Nº 4	4.76	253.40	873.60	6.49%	70.13%	29.87%
Nº 10	2	181.90	691.70	4.66%	74.79%	25.21%
Nº 20	0.840	180.60	511.10	4.63%	79.42%	20.58%
Nº 40	0.425	296.00	215.10	7.58%	87.00%	13.00%
Nº 60	0.260	31.70	183.40	0.81%	87.81%	12.19%
Nº 140	0.106	146.00	37.40	3.74%	91.55%	8.45%
Nº 200	0.075	33.50	3.90	0.86%	92.41%	7.59%
Cazuela	-	3.90	-	0.10%	92.51%	-
Lavado	-	292.43	-	7.49%	99.90%	-

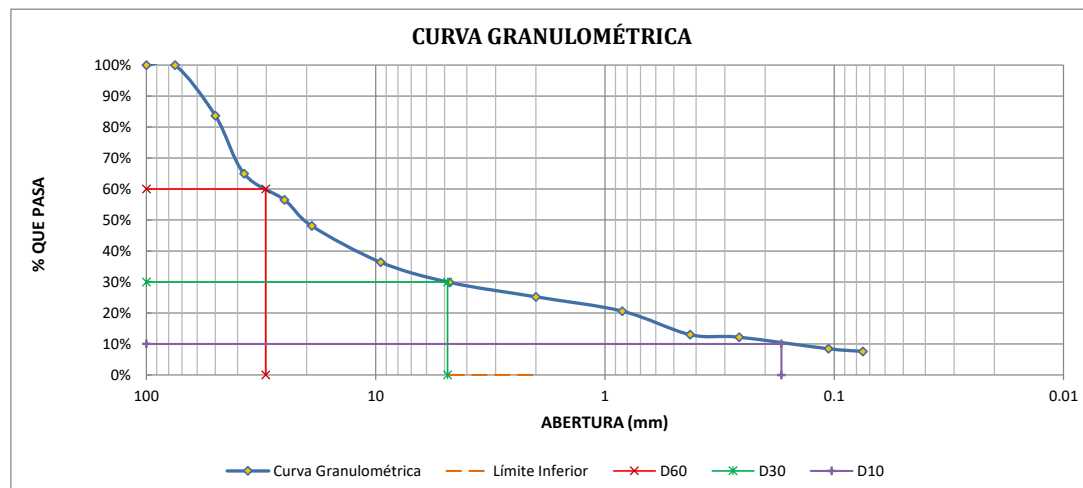
Total Fracción Retenida en Lavado = **3611.60**

100.00%

Fracciones Retenidas	De la Fraccion Gruesa	Propiedades
% de Gravas(Ret.nº4) = 70.13%	% de grava = 75.89%	T. Max.Absoluto= 3"
% de Arena (Pas Nº4-Ret Nº200)= 22.28%	% de arena = 24.11%	T. Max.Relativo= 2"
% de Finos(Pas Nº200)= 7.59%	Total = 100.00%	Clasf. SUCS= GP - GC
Total= 100.00%		Clasif.AASHTO= A-1-a (0) =

Calculo del Coeficiente de Uniformidad (Cu)
D60 = 30.18 mm
D10 = 0.17 mm
Cu= 177.64

Calculo del Coeficiente de Curvatura (Cc)
D60 = 30.18 mm
D30 = 4.86 mm
D10 = 0.17 mm
Cc= 4.60



observaciones: -Muestra tomadas en Campo por el Laboratorio



GEOINTEC J&H CONSULTORES S.A.C.
LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y MATERIALES. CONTROL DE CALIDAD Y ASISTENCIA TÉCNICA.

-ESTUDIO DE INGENIERÍA, CONSULTORÍA, SUPERVISIÓN Y EJECUCIÓN DE OBRAS CIVILES
URB. PATA PATA LIRCA Y A-435, SAN JERONIMO-CUSCO-PERÚ

CEL: 964200692

DEPARTAMENTO DE GEOTECNIA

Proyecto: "EVALUACION GEOLÓGICA-GEOTÉCNICA DE FACTIBILIDAD PARA LA AMPLIACION DE LA PRESA HUAYLLUMAYO MEDIANTE LA CONSTRUCCION DE UN NUEVO EJE DE PRESA, DISTRITO Y PROVINCIA DE ESPINAR, DEPARTAMENTO DE CUSCO-2024."

Ubicación: HUAYLLUMAYO - ESPINAR

Solicita: Br. ANGEL MOLLEHUANCA PABLO, Br. JESUS QUISPE CARDENAS

0

Fecha Recepción: CUSCO, AGOSTO DEL 2024

Finalidad: EMS

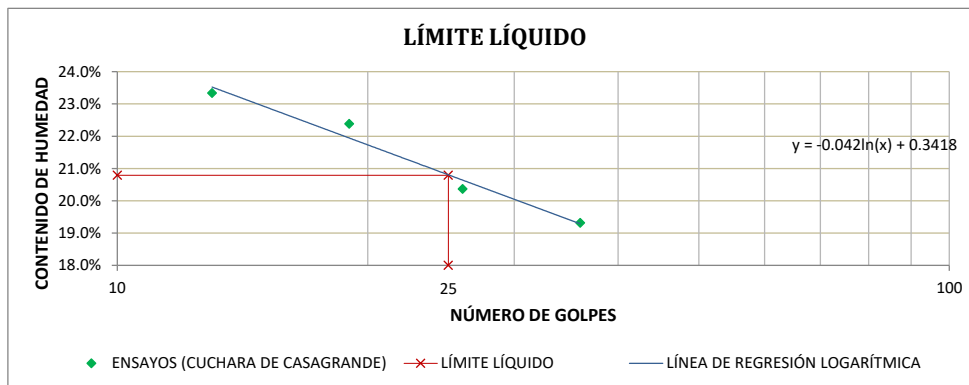
Datos Muestra

Descripcion: Grava mal graduada con arcilla limosa y arena

MTC E 110 - 2016

LÍMITE LÍQUIDO

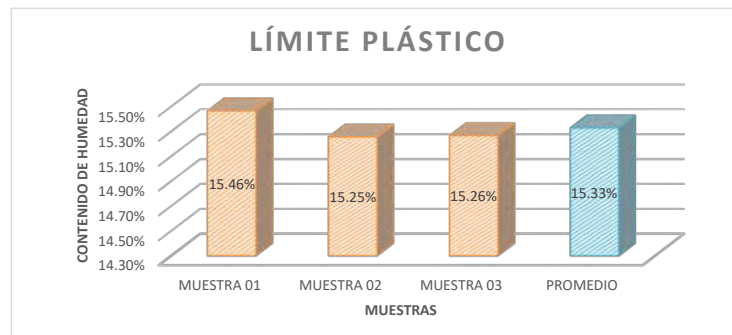
DESCRIPCIÓN	MUESTRA 01	MUESTRA 02	MUESTRA 03	MUESTRA 04
Peso de Capsula (gr)	9.72	10.40	7.66	8.81
Peso de Capsula + Muestra Húmeda (gr)	22.94	23.58	23.90	19.38
Peso de Capsula + Muestra Seca (gr)	20.80	21.35	20.93	17.38
Peso del Agua (gr)	2.14	2.23	2.97	2.00
Peso de la Muestra Seca (gr)	11.08	10.95	13.27	8.57
Contenido de Humedad	19.31%	20.37%	22.38%	23.34%
Número de Golpes	36	26	19	13



MTC E 111 - 2016

LÍMITE PLÁSTICO

DESCRIPCIÓN	MUESTRA 01	MUESTRA 02	MUESTRA 03
Peso de Capsula (gr)	9.22	8.90	9.63
Peso de Capsula + Muestra Húmeda (gr)	12.58	12.98	13.33
Peso de Capsula + Muestra Seca (gr)	12.13	12.44	12.84
Peso del Agua (gr)	0.45	0.54	0.49
Peso de la Muestra Seca (gr)	2.91	3.54	3.21
Contenido de Humedad	15.46%	15.25%	15.26%



LÍMITE LÍQUIDO = 21.00%

LÍMITE PLÁSTICO = 15.00%

ÍNDICE DE PLASTICIDAD = 6.00%

observaciones: -Muestra tomadas en Campo por el Laboratorio



GEOINTEC J&H CONSULTORES S.A.C.
LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y MATERIALES. CONTROL DE CALIDAD Y ASISTENCIA TÉCNICA.
 -ESTUDIO DE INGENIERÍA, CONSULTORÍA, SUPERVISIÓN Y EJECUCIÓN DE OBRAS CIVILES
 URB. PATA PATA LIRCAY A-435, SAN JERONIMO-CUSCO-PERÚ CEL: 964200692

DEPARTAMENTO DE GEOTECNIA

Proyecto: "EVALUACION GEOLÓGICA-GEOTÉCNICA DE FACTIBILIDAD PARA LA AMPLIACION DE LA PRESA HUAYLLUMAYO MEDIANTE LA CONSTRUCCION DE UN NUEVO EJE DE PRESA, DISTRITO Y PROVINCIA DE ESPINAR, DEPARTAMENTO DE CUSCO-2024."

Ubicación: HUAYLLUMAYO - ESPINAR

Solicita: Br. ANGEL MOLLEHUANCA PABLO, Br. JESUS QUISPE CARDENAS

Fecha Recepción: CUSCO, AGOSTO DEL 2024

Finalidad: EMS

Datos Muestra

Descripcion: Grava mal graduada con arcilla limosa y arena

ASTM D-2487 SISTEMA UNIFICADO DE CLASIFICACIÓN DE SUELOS (SUCS)

DATOS PARA CLASIFICACIÓN	
De Granulometría	
% de Gruesos =	92.41%
% de Finos =	7.59%
Total =	100.00%
% de Grava = 70.13%	
% de Arena =	22.28%
Total =	92.41%
Fracción Gruesa	
% de Grava =	75.89%
% de Arena =	24.11%
Total =	100.00%
Coeficientes	
Cu =	177.64
Cc =	4.601
De Límites de Consistencia	
LL =	21.00%
LP =	15.00%
IP =	6.00%
Otros Datos	
Tipo =	Inorgánico

CRITERIOS PARA LA ASIGNACIÓN DE SÍMBOLOS DE GRUPO Y NOMBRE DE GRUPO CON EL USO DE ENSAYOS DE LABORATORIO		SÍMBOLO	NOMBRE DE GRUPO	
SUELOS DE PARTÍCULAS GRUESAS Más del 50% es retenido en la malla Nº 200	GRAVAS Más del 50% de la fracción gruesa es retenida en la malla Nº 4	GRAVAS LIMPIAS Menos del 5% pasa la malla Nº 200	Cu ≥ 4 y 1 ≤ Cc ≤ 3 GW Grava bien graduada	
		GRAVAS CON FINOS Mas del 12% pasa la malla Nº 200	Cu < 4 ó 1 > Cc > 3 GP Grava mal graduada	
		GRAVAS LIMPIAS Y CON FINOS Entre el 5 y 12% pasa malla Nº 200	IP < 4 ó abajo de la línea "A" en la carta de plasticidad	GM Grava limosa
			IP > 7 y arriba de la línea "A" en la carta de plasticidad	GC Grava arcillosa
			4 ≤ IP ≤ 7 y arriba de la línea "A" en la carta de plasticidad	GC - GM Grava limosa arcillosa
			Cumple los criterios para GW y GM	GW - GM Grava bien graduada con limo
	ARENAS El 50% o más de la fracción gruesa pasa la malla Nº 4	ARENAS LIMPIAS Menos del 5% pasa la malla Nº 200	Cumple los criterios para GW y GC o para GW y GC - GM	GW - GC Grava bien graduada con arcilla
			Cumple los criterios para GP y GM	GP - GM Grava mal graduada con limo
		ARENAS CON FINOS Mas del 12% pasa la malla Nº 200	Cumple los criterios para GP y GC o para GP y GC - GM	GP - GC Grava mal graduada con arcilla
			IP < 4 ó abajo de la línea "A" en la carta de plasticidad	SM Arena limosa
			IP > 7 y arriba de la línea "A" en la carta de plasticidad	SC Arena arcillosa
			4 ≤ IP ≤ 7 y arriba de la línea "A" en la carta de plasticidad	SC - SM Arena limosa arcillosa
SUELOS DE PARTÍCULAS FINAS El 50% o más pasa la malla Nº 200	LIMOS Y ARCILLAS Límite Líquido menor que 50	Cumple los criterios para SW y SM	SW - SM Arena bien graduada con limo	
		Cumple los criterios para SW y SC o para SW y SC - SM	SW - SC Arena bien graduada con arcilla	
		Cumple los criterios para SP y SM	SP - SM Arena mal graduada con limo	
		Cumple los criterios para SP y SC o para SP y SC - SM	SP - SC Arena mal graduada con arcilla	
		IP < 4 ó abajo de la línea "A" en la carta de plasticidad	ML Limo de baja plasticidad	
		IP > 7 y arriba de la línea "A" en la carta de plasticidad	CL Arcilla de baja plasticidad	
	LIMOS Y ARCILLAS Límite Líquido 50 o mayor	4 ≤ IP ≤ 7 y arriba de la línea "A" en la carta de plasticidad	CL - ML Arcilla limosa	
		Límite Líquido <i>secado al horno</i> < 0.75	OL Limo orgánico	
		Límite Líquido <i>no secado</i> < 0.75	OH Limo orgánico	
		Se grafica en la carta de plasticidad abajo de la línea "A"	MH Limo de alta plasticidad	
		Se grafica en la carta de plasticidad arriba de la línea "A"	CH Arcilla de alta plasticidad	
		Límite Líquido <i>secado al horno</i> < 0.75	OH Limo orgánico	
SUELOS ALTAMENTE ORGÁNICOS	Principalmente materia orgánica de color oscuro	Pt	Turba	

GP - GC = Grava mal graduada con arcilla limosa y arena

El Equipo ideal de Compactación que recomienda la ASTM para este tipo de suelo es: Tractor tipo oruga, rodillo de neumáticos, rodillo con ruedas de acero, rodillo de pata de cabra



GEOINTEC J&H CONSULTORES S.AC.
LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y MATERIALES. CONTROL DE CALIDAD Y ASISTENCIA TÉCNICA.
-ESTUDIO DE INGENIERÍA, CONSULTORÍA, SUPERVISIÓN Y EJECUCIÓN DE OBRAS CIVILES
URB. PATA PATA LIRCAY A-435, SAN JERONIMO-CUSCO-PERÚ CEL: 964200692

DEPARTAMENTO DE GEOTECNIA

Proyecto: "EVALUACION GEOLÓGICA-GEOTÉCNICA DE FACTIBILIDAD PARA LA AMPLIACION DE LA PRESA HUAYLLUMAYO MEDIANTE LA CONSTRUCCION DE UN NUEVO EJE DE PRESA, DISTRITO Y PROVINCIA DE ESPINAR, DEPARTAMENTO DE CUSCO-2024."

Ubicación: HUAYLLUMAYO - ESPINAR

Solicita: Br. ANGEL MOLLEHUANCA PABLO, Br. JESUS QUISPE CARDENAS

Fecha Recepción: CUSCO, AGOSTO DEL 2024

Finalidad: EMS

Datos Muestra

Descripcion: Grava mal graduada con arcilla limosa y arena

ASTM D-2487

SISTEMA UNIFICADO DE CLASIFICACIÓN DE SUELOS (SUCS)

DIAGRAMA DE CLASIFICACIÓN DE SUELOS DEL SISTEMA UNIFICADO DE CLASIFICACIÓN DE SUELOS

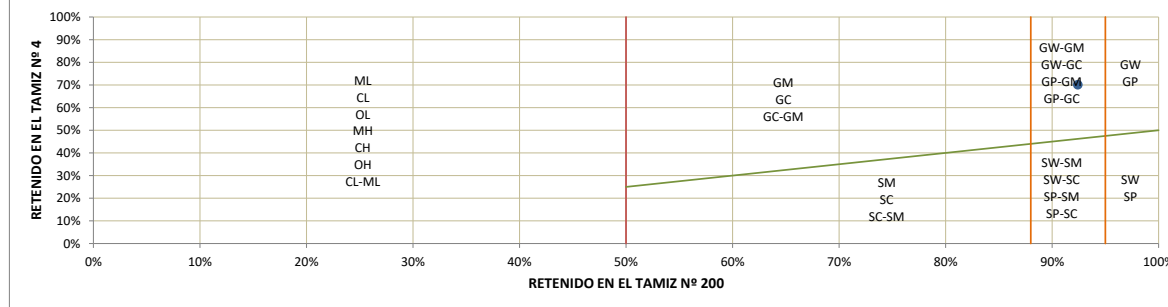
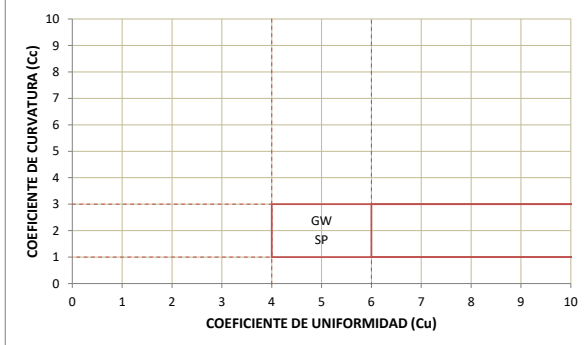
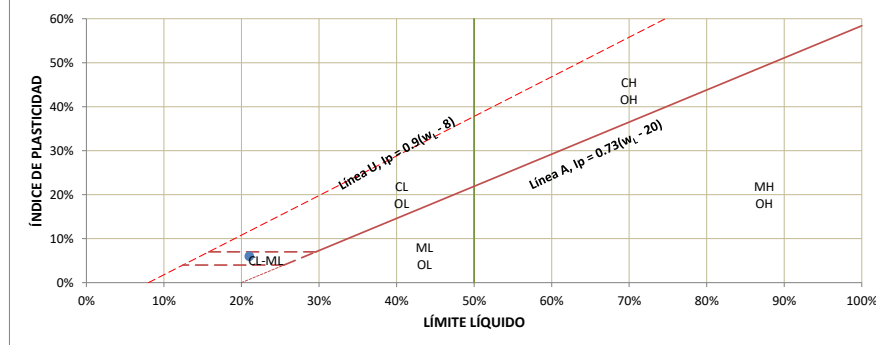


DIAGRAMA DE GRADACIÓN DE SUELOS GRUESOS



CARTA DE PLASTICIDAD DE CASAGRANDE PARA SUELOS FINOS



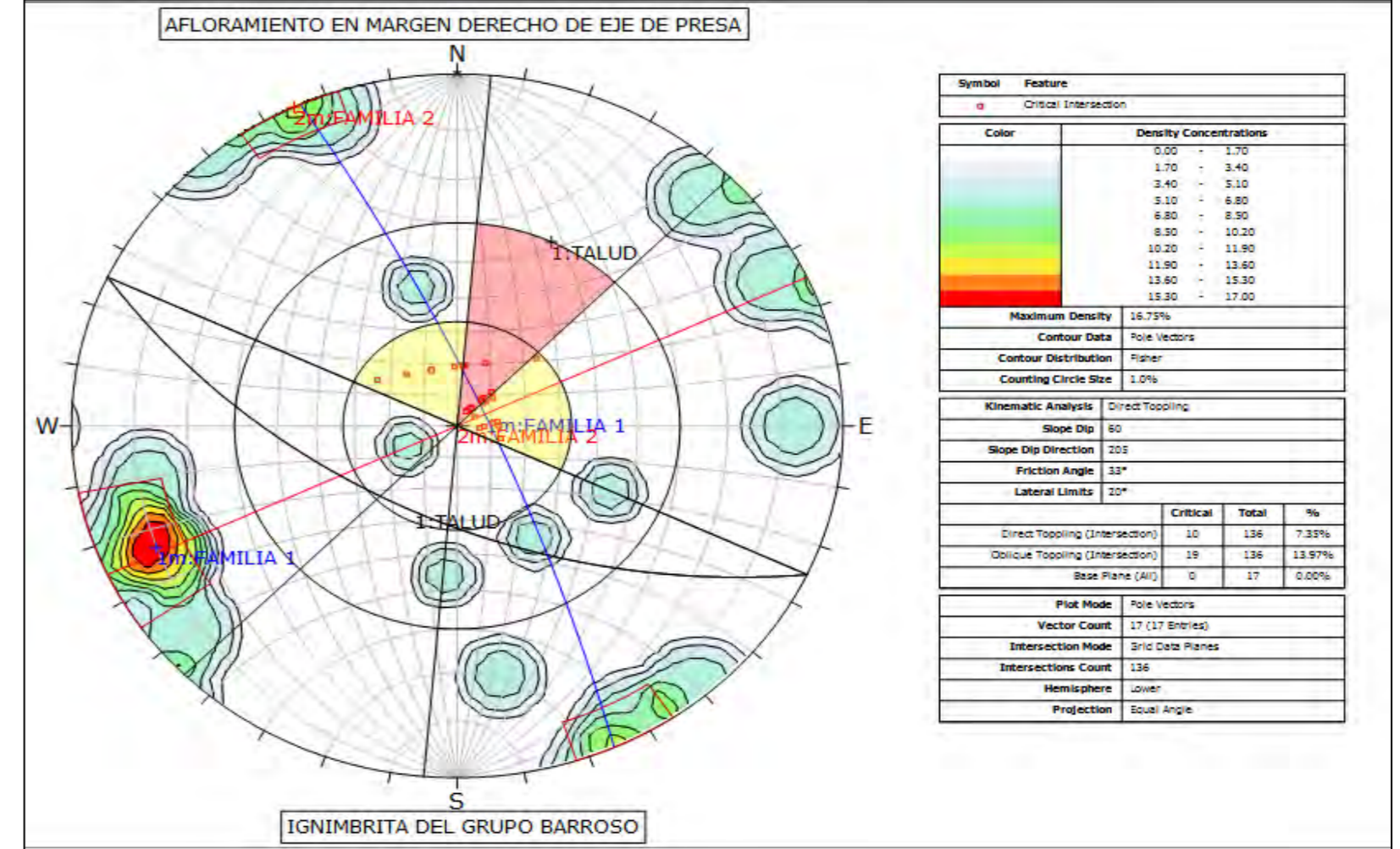
ANEXO C
ESTACIONES
GEOMECHANICAS

FICHA DE ESTACION GEOMECÁNICA 01

COORDENADAS: X: 236178 Y: 8349407 Z: 4050 ESTACIÓN Nº: EG-01
 FECHA: 18/05/2024 Calidad de afloramiento: MUY BUENA

MEDIDAS	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
Tipo de Plano	F1A	F1B	F1C	FR1	FR2	FR3	FR4	FR5	FR6	FR7									
Dirección de Buza.	224	270	243	66	295	4	351	64	159	328									
Buzamiento	84	82	84	16	47	46	71	79	87	41									
ESPACIADO																			
> 2000 mm	X																		
600 - 2000 mm		X	X	X	X		X	X		X									
200 - 600 mm									X										
60 - 200 mm						X													
< 60 mm																			
CONTINUIDAD																			
< 1 m						X		X		X									
1-3 m	X	X	X		X		X	X		X									
3-10 m				X															
10-20 m																			
>20 m																			
APERTURA																			
Nada									X	X									
< 0,1 mm						X													
0,1-1,0 mm					X		X	X											
1-5 mm	X	X		X															
> 5 mm			X																
RUGOSIDAD																			
Ondulación	LR	LR	LR	LR	LR	LR	LR	LR	LR	LR									
JRC	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6									
METOR. JUNTA																			
Grado	I	II	II	I	I	I	I	II	II	I									
AGUA																			
Seco	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X									
Lig. humedo																			
Humedo																			
Goteando																			
Fluyendo																			
RELLENO																			
Naturaleza																			
Espesor mm	1	1	10	1	1	<1	1	1	1	3									

LITOLOGIA: IGNIMBRITA FORMACIÓN: CALDERA CAYLLOMA
 METEORIZACION: Grado I RESISTENCIA: R4 = Dura



CARACTERIZACIÓN DEL MACIZO ROCOSO - RMR (Bieniawski 1989)

OBTENCIÓN RMR BÁSICO		VALORACIÓN MÍNIMA		VALORACIÓN MÁXIMA		
		DATOS	VAL.	DATOS	VAL.	
RMR 1	Resistencia a compr. simple (MPa) Laboratorio	Grado II	2	Grado II	2	
RMR 2	Fracturas/metro lineal (λ) RQD	3 200	3 49	3 200	3 49	
RMR 3	Espaciado (mm)	200	8	1000	14	
RMR 4	Estado de las juntas	Persistencia	3-10 m	2	1-3 m	4
		Apertura	1-5 mm	1	Nada	6
		Rugosidad	Ligeramente Rugosa	3	Ligeramente Rugosa	3
		Relleno	Relleno duro > 5 mm	2	Relleno duro < 5 mm	4
		Alteración	Ligeramente alterado	5	Ligeramente alterado	5
	Suma		13		22	
RMR 5	Presencia de agua	Estado Seco	15	Estado Seco	15	
	Total		87	Total	102	

RMR Básico	87	a	102
GSI	82	a	97

FOTOGRAFIA DE LA ESTACION GEOMECÁNICA



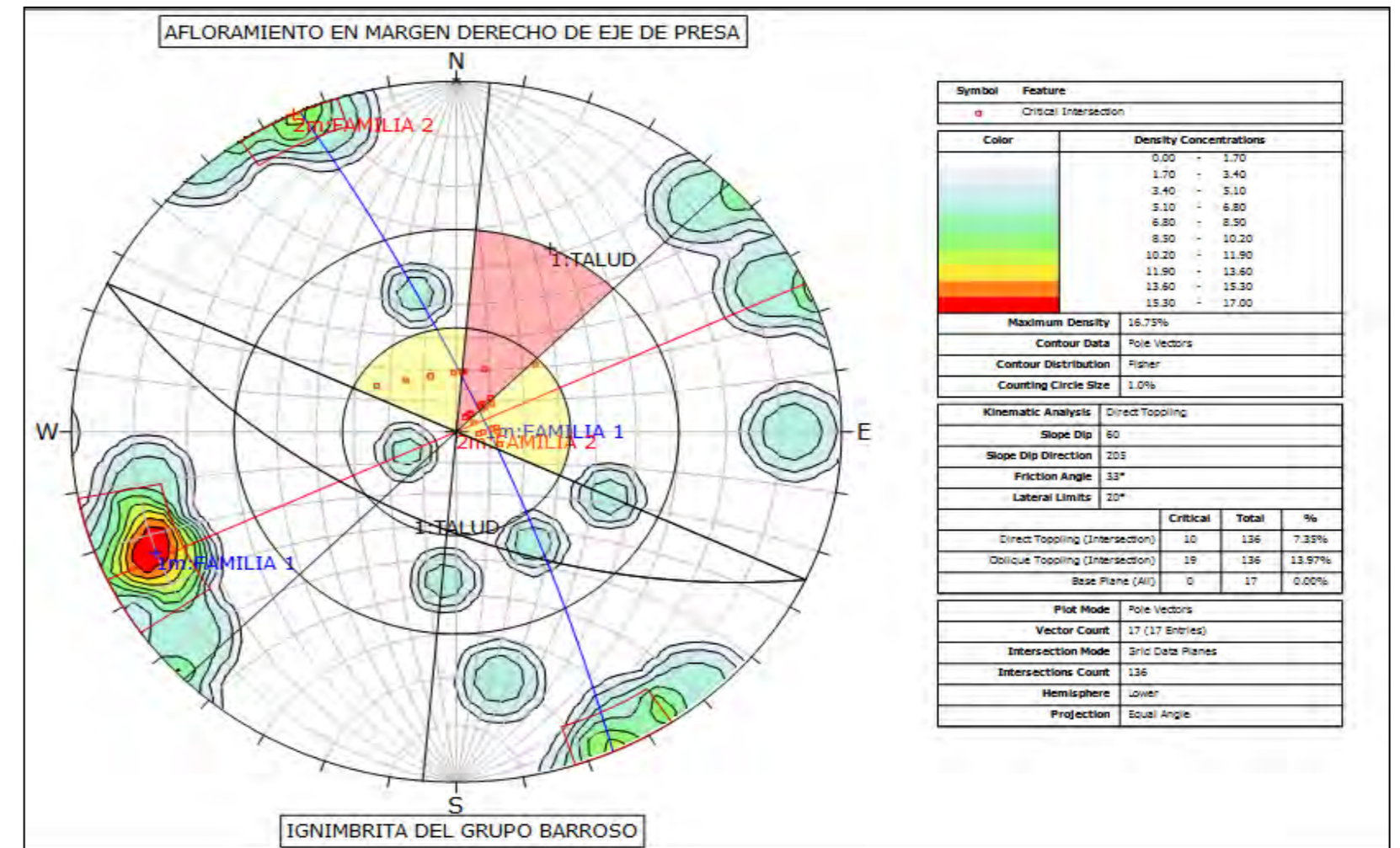
“MEJORAMIENTO Y AMPLIACIÓN DEL SERVICIO DE AGUA POTABLE Y SANEAMIENTO DE LA CIUDAD DE ESPINAR, DISTRITO DE ESPINAR, PROVINCIA DE ESPINAR – CUSCO”

FICHA DE ESTACION GEOMECÁNICA 02

COORDENADAS: X: 236158 Y: 8349432 Z: 4045 ESTACIÓN N°: EG-02
 FECHA: 18/05/2024 Calidad de afloramiento: MUY BUENA

MEDIDAS	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
Tipo de Plano	FR2	FR1	FR3	FR4	FR5	FR6	FR7												
Dirección de Buza.	80	165	50	320	65	70	332												
Buzamiento	78	44	84	88	80	84	87												
ESPACIADO																			
> 2000 mm																			
600 - 2000 mm	X																		
200 - 600 mm				X															
60 - 200 mm		X	X		X	X	X												
< 60 mm																			
CONTINUIDAD																			
< 1 m						X													
1-3 m	X	X		X	X		X												
3-10 m			X																
10-20 m																			
>20 m																			
APERTURA																			
Nada						X													
< 0,1 mm																			
0,1-1,0 mm	X	X		X															
1-5 mm			X				X												
> 5 mm					X														
RUGOSIDAD																			
Ondulación	LR	LR	LR	LR	LR	LR	LR												
JRC	6	6	6	6	6	6	6												
METOR. JUNTA																			
Grado	I	II	II	II	II	II	I												
AGUA																			
Seco	X	X	X	X	X	X	X												
Lig. humedo																			
Humedo																			
Goteando																			
Fluyendo																			
RELLENO																			
Naturaleza	-	-	ORG.	-	-	-	-												
Espesor mm	1	2	5	1	10	-	5												

LITOLOGIA: IGNIMBRITA FORMACIÓN: CALDERA CAYLLOMA
 METEORIZACION: Grado II RESISTENCIA: R2 = Debil

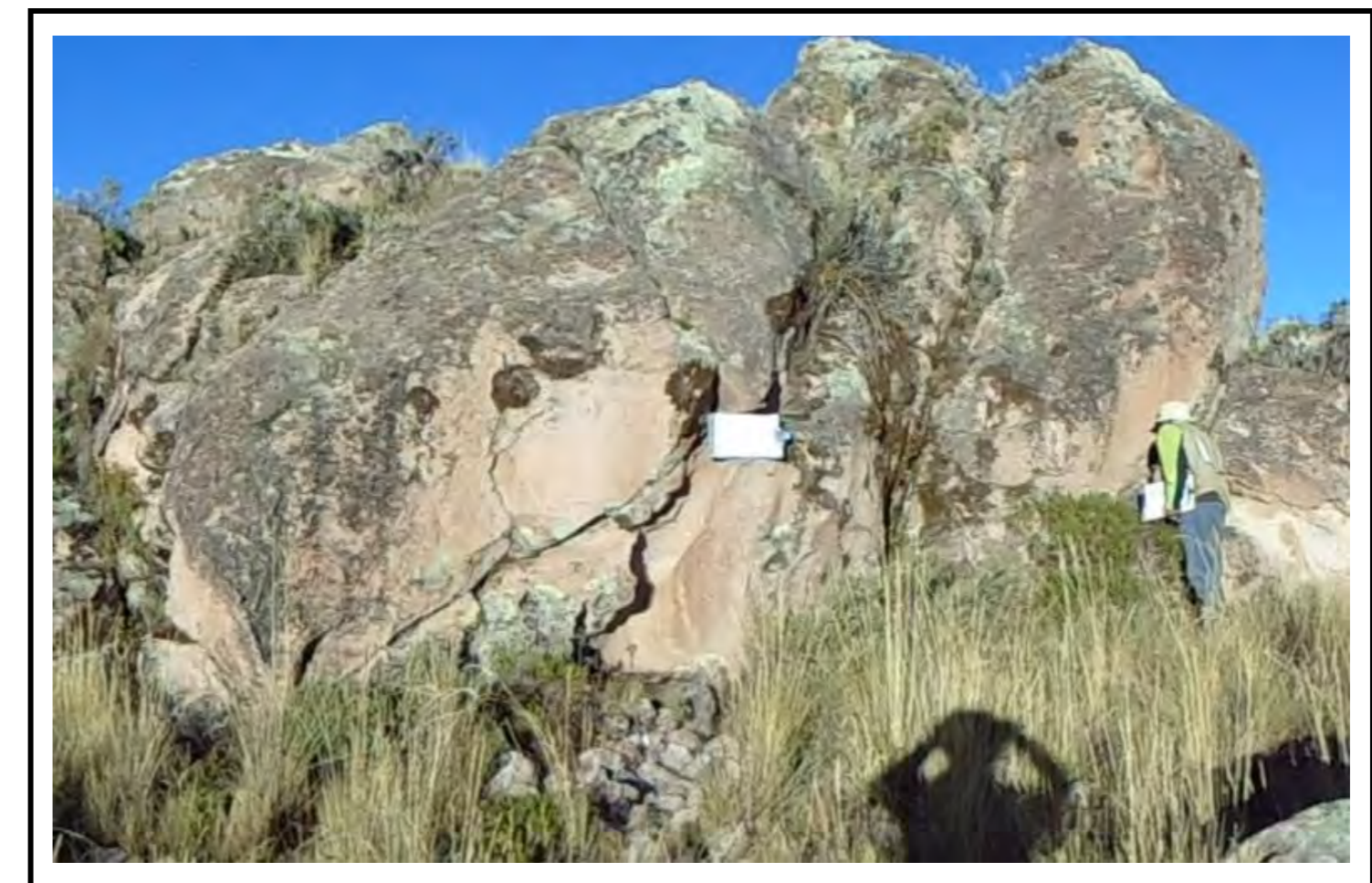


CARACTERIZACIÓN DEL MACIZO ROCOSO - RMR (Bieniawski 1989)

OBTENCIÓN RMR BÁSICO		VALORACIÓN MÍNIMA		VALORACIÓN MÁXIMA		
		DATOS	VAL.	DATOS	VAL.	
RMR 1	Resistencia a compr. simple (MPa) Laboratorio	Grado II	2	Grado II	2	
RMR 2	Fracturas/metro lineal (λ) RQD	3 96	3 19	1 100	1 20	
RMR 3	Espaciado (mm)	200	8	1000	14	
RMR 4	Estado de las juntas	Persistencia	3-10 m	2	1-3 m	4
		Apertura	> 5 mm	0	0,1-1,0 mm	4
		Rugosidad	Ligeramente Rugosa	3	Ligeramente Rugosa	3
		Relleno	Relleno blando < 5 mm	2	Relleno duro > 5 mm	2
		Alteración	Moderadamente alterado	3	Ligeramente alterado	5
	Suma		10		18	
RMR 5	Presencia de agua	Estado Seco	15	Estado Seco	15	
	Total		54	Total	69	

RMR Básico	54	a	69
GSI	49	a	64

FOTOGRAFIA DE LA ESTACION GEOMECÁNICA



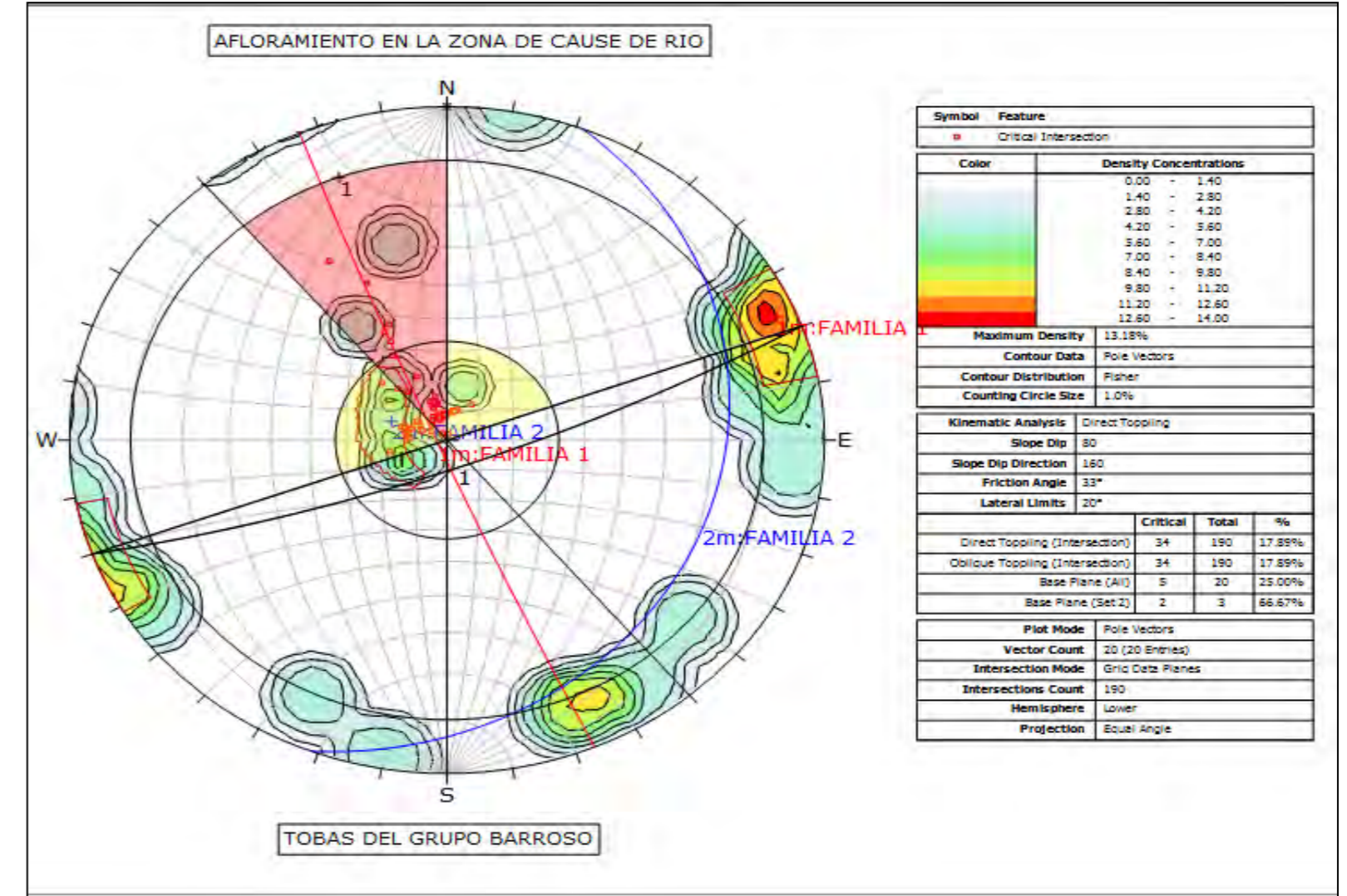
“MEJORAMIENTO Y AMPLIACIÓN DEL SERVICIO DE AGUA POTABLE Y SANEAMIENTO DE LA CIUDAD DE ESPINAR, DISTRITO DE ESPINAR, PROVINCIA DE ESPINAR – CUSCO”

FICHA DE ESTACION GEOMECÁNICA 03

COORDENADAS: X: 235695 Y: 8349494 Z: 4034 ESTACIÓN N°: EG-03
 FECHA: 18/05/2024 Calidad de afloramiento: MUY BUENA

MEDIDAS	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
Tipo de Plano	FR1	FR2	FR3	FR4	FR5	FR6	FR7	FR8	FR9	FR10									
Dirección de Buza.	167	112	143	195	65	145	250	325	67	260									
Buzamiento	62	19	25	19	89	45	84	83	19	89									
ESPACIADO																			
> 2000 mm																			
600 - 2000 mm									X										
200 - 600 mm	X	X	X	X	X	X	X	X		X									
60 - 200 mm																			
< 60 mm																			
CONTINUIDAD																			
< 1 m																			
1-3 m		X	X	X		X	X	X	X	X									
3-10 m	X				X														
10-20 m																			
>20 m																			
APERTURA																			
Nada																			
< 0,1 mm		X																	
0,1-1,0 mm				X		X	X	X	X	X									
1-5 mm	X		X		X														
> 5 mm																			
RUGOSIDAD																			
Ondulación	LR	LR	LR	LR	LR	LR	LR	LR	LR	LR									
JRC	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6									
METOR. JUNTA																			
Grado	II	I	I	I	I	I	I	I	I	II									
AGUA																			
Seco	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X									
Lig. humedo																			
Humedo																			
Goteando																			
Fluyendo																			
RELLENO																			
Naturaleza	DURO	-	SUAVE	DURO	-	DURO	DURO	SUAVE	SUAVE	SUAVE									
Espesor mm	1	0.1	1	0.1	2	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1									

LITOLOGIA: IGNIMBRITA FORMACIÓN: CALDERA CAYLLOMA
 METEORIZACION: Grado II RESISTENCIA: R2 = Debil

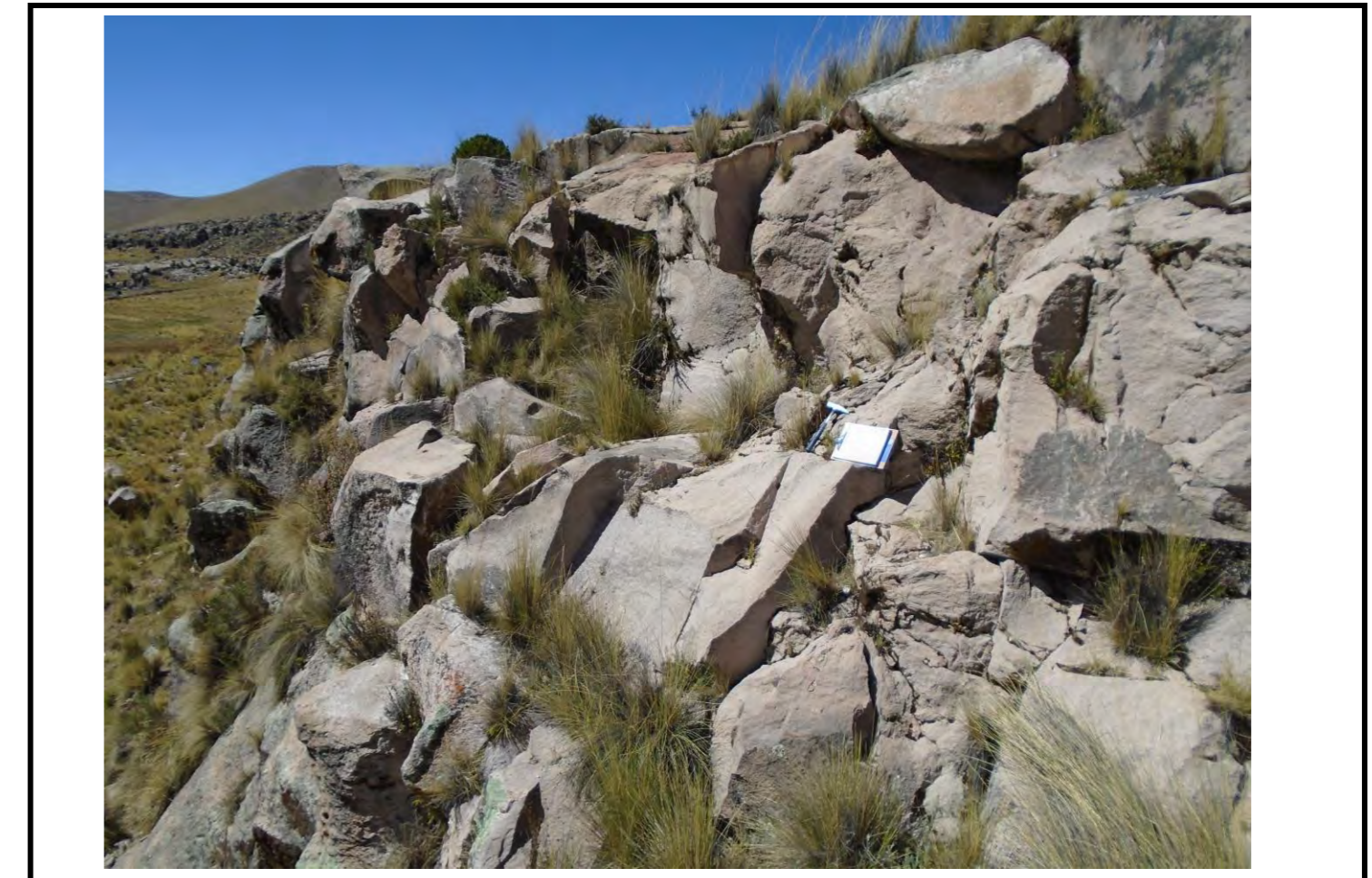


CARACTERIZACIÓN DEL MACIZO ROCOSO - RMR (Bieniawski 1989)

OBTENCIÓN RMR BÁSICO		VALORACIÓN MÍNIMA		VALORACIÓN MÁXIMA		
		DATOS	VAL.	DATOS	VAL.	
RMR 1	Resistencia a compr. simple (MPa) Laboratorio	Grado III	4	Grado III	4	
RMR 2	Fracturas/metro lineal (λ) RQD	10 74	15	2 98	20	
RMR 3	Espaciado (mm)	300	9	1000	14	
RMR 4	Estado de las juntas	Persistencia	3-10 m	2	1-3 m	4
		Apertura	1-5 mm	1	Nada	6
		Rugosidad	Ligeramente Rugosa	3	Ligeramente Rugosa	3
		Relleno	Relleno blando < 5 mm	2	Relleno duro < 5 mm	4
		Alteración	Ligeramente alterado	5	inalterado	6
	Suma		13		23	
RMR 5	Presencia de agua	Estado Seco	15	Estado Seco	15	
		Total	56	Total	76	

RMR Básico	56	a	76
GSI	51	a	71

FOTOGRAFIA DE LA ESTACION GEOMECÁNICA



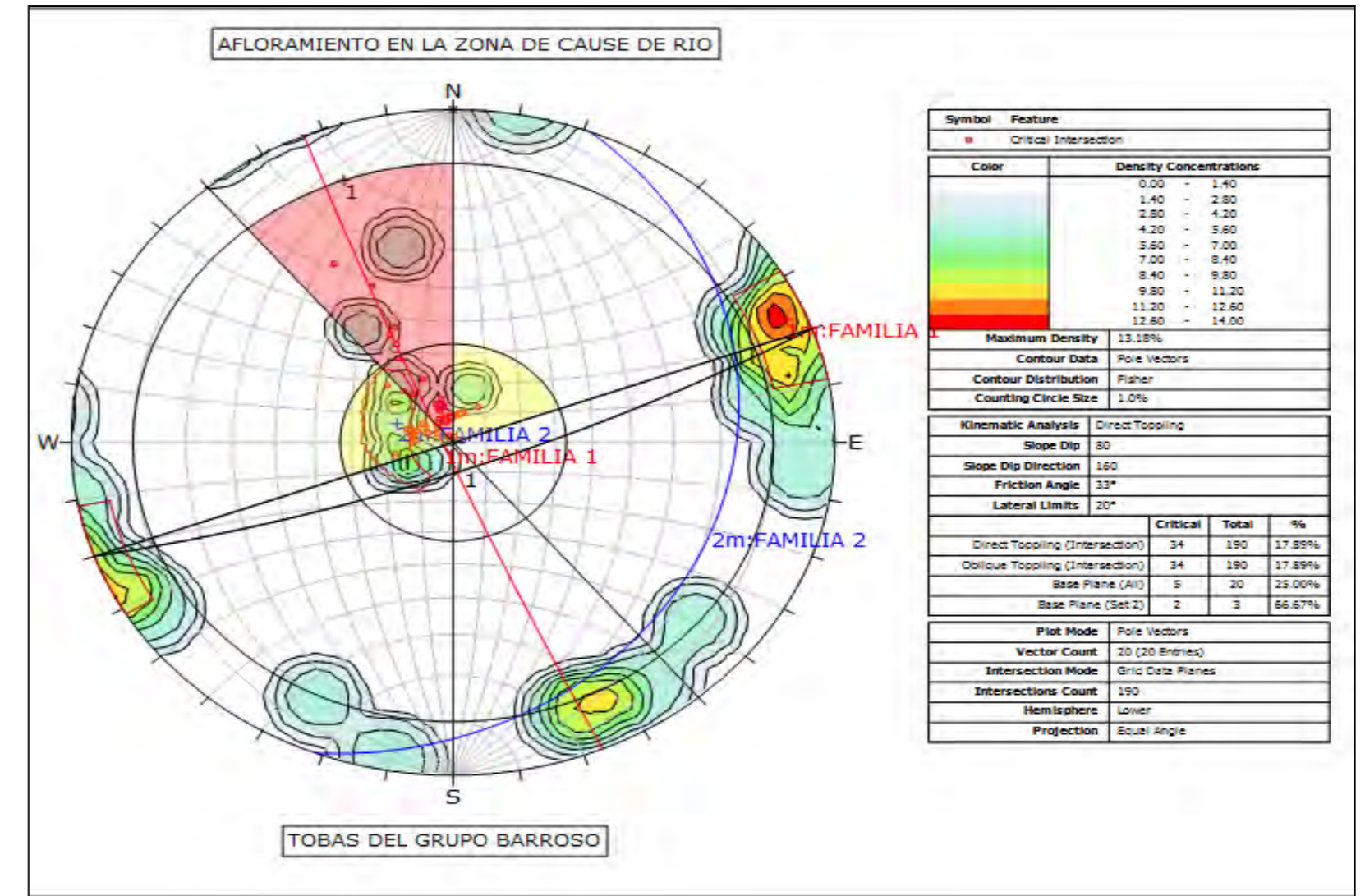
“MEJORAMIENTO Y AMPLIACIÓN DEL SERVICIO DE AGUA POTABLE Y SANEAMIENTO DE LA CIUDAD DE ESPINAR, DISTRITO DE ESPINAR, PROVINCIA DE ESPINAR – CUSCO”

FICHA DE ESTACION GEOMECÁNICA 04

COORDENADAS: X: 236007 Y: 8349527 Z: 4021 ESTACIÓN N°: EG-04
 FECHA: 19/05/2024 Calidad de afloramiento: MUY BUENA

MEDIDAS	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	
Tipo de Plano	FR1	FR2	FR3	FR4	FR5	FR6	FR7	FR8	FR9	FR10										
Dirección de Buza.	58	260	340	50	310	25	245	335	10	275										
Buzamiento	86	78	81	10	79	80	80	82	88	85										
ESPACIADO																				
> 2000 mm																				
600 - 2000 mm	X			X						X										
200 - 600 mm		X	X		X	X	X	X	X											
60 - 200 mm																				
< 60 mm																				
CONTINUIDAD																				
< 1 m			X	X																
1-3 m		X			X	X		X												
3-10 m	X						X	X	X	X										
10-20 m																				
>20 m																				
APERTURA																				
Nada																				
< 0,1 mm		X	X	X																
0,1-1,0 mm									X											
1-5 mm	X				X	X	X	X												
> 5 mm										X										
RUGOSIDAD																				
Ondulación	LR	LR	LR	LR	LR	LR	LR	LR	LR	LR										
JRC	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6										
METOR. JUNTA																				
Grado	I	II	II	I	I	II	II	II	II	I										
AGUA																				
Seco	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X										
Lig. humedo																				
Humedo																				
Goteando																				
Fluyendo																				
RELLENO																				
Naturaleza	DURO	DURO	DURO	DURO	DURO	DURO		DURO	DURO											
Espesor mm	5	<1	<1	<1	3	5	4	2	<1	8										

LITOLOGIA: IGNIMBRITA FORMACIÓN: CALDERA CAYLLOMA
 METEORIZACION: Grado II RESISTENCIA: R2 = Debil

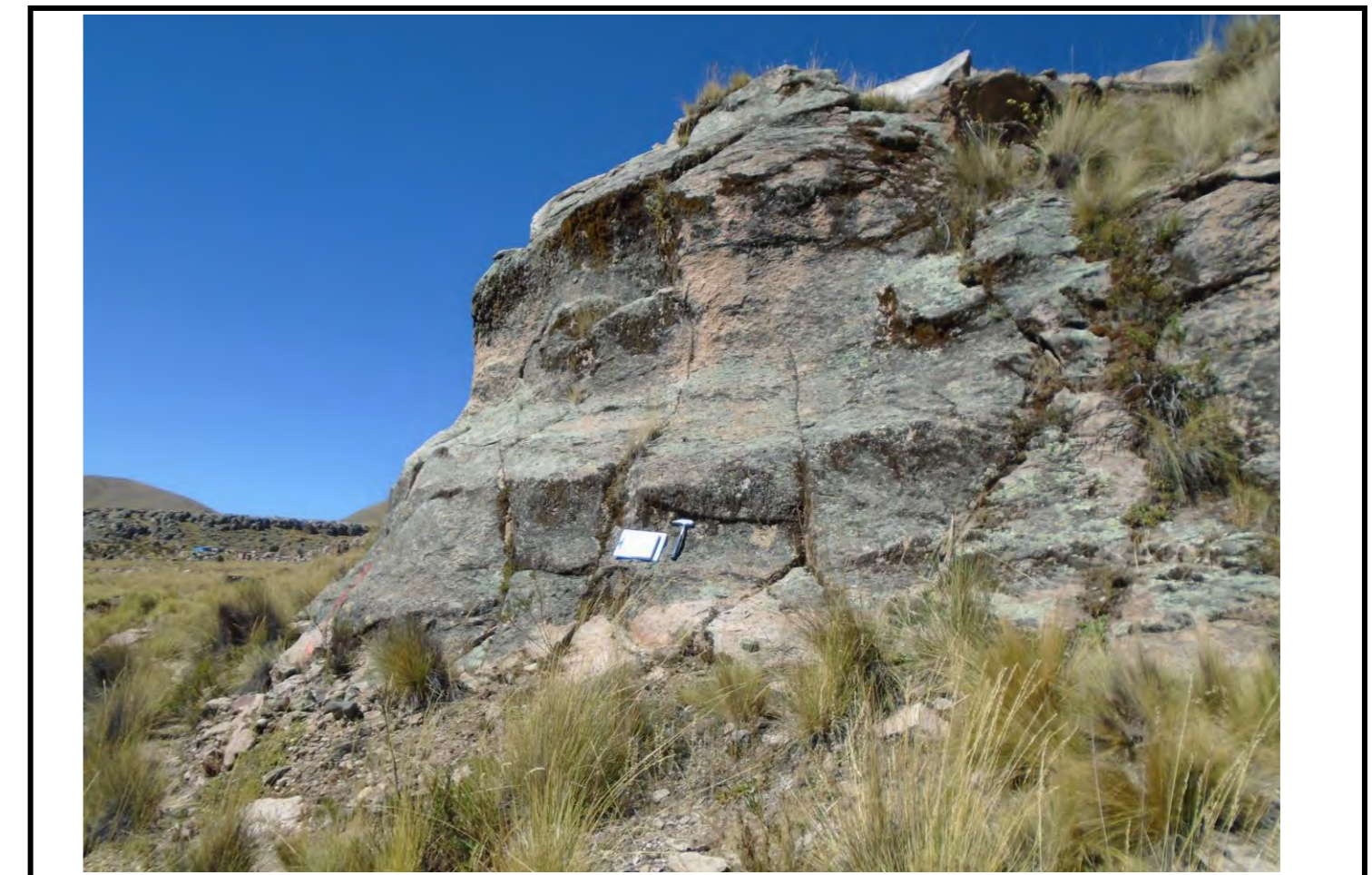


CARACTERIZACIÓN DEL MACIZO ROCOSO - RMR (Bieniawski 1989)

OBTENCIÓN RMR BÁSICO		VALORACIÓN MÍNIMA		VALORACIÓN MÁXIMA		
		DATOS	VAL.	DATOS	VAL.	
RMR 1	Resistencia a compr. simple (MPa) Laboratorio	Grado III	4	Grado III	4	
RMR 2	Fracturas/metro lineal (λ) RQD	3 96	3 19	2 98	2 20	
RMR 3	Espaciado (mm)	400	10	1000	14	
RMR 4	Estado de las juntas	Persistencia	3-10 m	2	< 1 m	6
		Apertura	1-5 mm	1	< 0,1 mm	5
		Rugosidad	Ligeramente Rugosa	3	Ligeramente Rugosa	3
		Relleno	Relleno duro < 5 mm	4	Relleno duro < 5 mm	4
		Alteración	Ligeramente alterado	5	inalterado	6
	Suma		15		24	
RMR 5	Presencia de agua	Estado Seco	15	Estado Seco	15	
		Total	63	Total	77	

RMR Básico	63	a	77
GSI	58	a	72

FOTOGRAFIA DE LA ESTACION GEOMECÁNICA



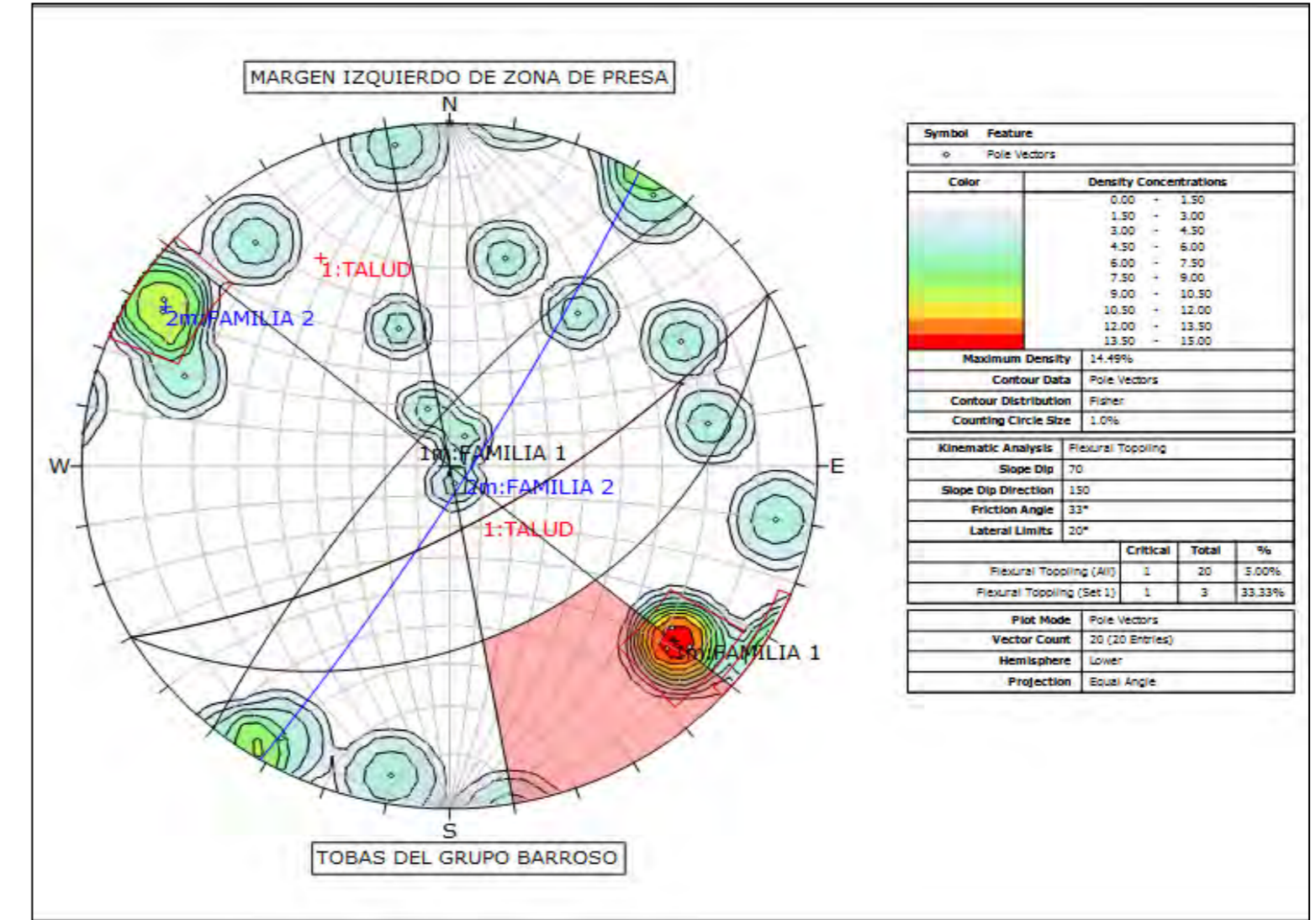
“MEJORAMIENTO Y AMPLIACIÓN DEL SERVICIO DE AGUA POTABLE Y SANEAMIENTO DE LA CIUDAD DE ESPINAR, DISTRITO DE ESPINAR, PROVINCIA DE ESPINAR – CUSCO”

FICHA DE ESTACION GEOMECAÁNICA 05

COORDENADAS: X: 235989 Y: 8349515 Z: 4023 ESTACIÓN Nº: EG-05
 FECHA: 19/05/2024 Calidad de afloramiento: BUENA

MEDIDAS	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
Tipo de Plano	FR1	FR2	FR3	FR4	FR5	FR6	FR7	FR8	FR9	FR10									
Dirección de Buza.	161	110	240	205	10	345	160	215	30	218									
Buzamiento	46	75	72	11	85	6	20	88	85	59									
ESPACIADO																			
> 2000 mm																			
600 - 2000 mm									X										
200 - 600 mm								X		X									
60 - 200 mm	X	X	X	X	X		X												
< 60 mm						X													
CONTINUIDAD																			
< 1 m	X					X		X		X									
1-3 m		X			X		X		X	X									
3-10 m			X	X															
10-20 m																			
>20 m																			
APERTURA																			
Nada																			
< 0,1 mm	X								X										
0,1-1,0 mm		X		X	X	X	X												
1-5 mm								X		X									
> 5 mm			X																
RUGOSIDAD																			
Ondulación	LR	LR	LR	LR	LR	LR	LR	LR	LR	LR									
JRC	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6									
METOR. JUNTA																			
Grado	I	I	I	I	I	I	I	I	I	II									
AGUA																			
Seco	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X									
Lig. humedo																			
Humedo																			
Goteando																			
Fluyendo																			
RELLENO																			
Naturaleza		DURO								SUAVE	SUAVE								
Espesor mm	<0,1	1	5	<1	2	<1	<1	5	<1	1									

LITOLOGIA: IGNIMBRITA FORMACIÓN: CALDERA CAYLLOMA
 METEORIZACION: Grado II RESISTENCIA: R2 = Debil



CARACTERIZACIÓN DEL MACIZO ROCOSO - RMR (Bieniawski 1989)

OBTENCIÓN RMR BÁSICO		VALORACIÓN MÍNIMA		VALORACIÓN MÁXIMA		
		DATOS	VAL.	DATOS	VAL.	
RMR 1	Resistencia a compr. simple (MPa) Laboratorio	Grado III	4	Grado III	4	
RMR 2	Fracturas/metro lineal (λ) RQD	5 91	18	2 98	20	
RMR 3	Espaciado (mm)	200	8	600	12	
RMR 4	Estado de las juntas	Persistencia	3-10 m	2	< 1 m	6
		Apertura	1-5 mm	1	< 0,1 mm	5
		Rugosidad	Ligeramente Rugosa	3	Ligeramente Rugosa	3
		Relleno	Relleno blando < 5 mm	2	Relleno duro < 5 mm	4
		Alteración	Ligeramente alterado	5	inalterado	6
	Suma		13		24	
RMR 5	Presencia de agua	Estado Seco	15	Estado Seco	15	
		Total	58	Total	75	

RMR Básico	58	a	75
GSI	53	a	70

FOTOGRAFIA DE LA ESTACION GEOMECAÁNICA



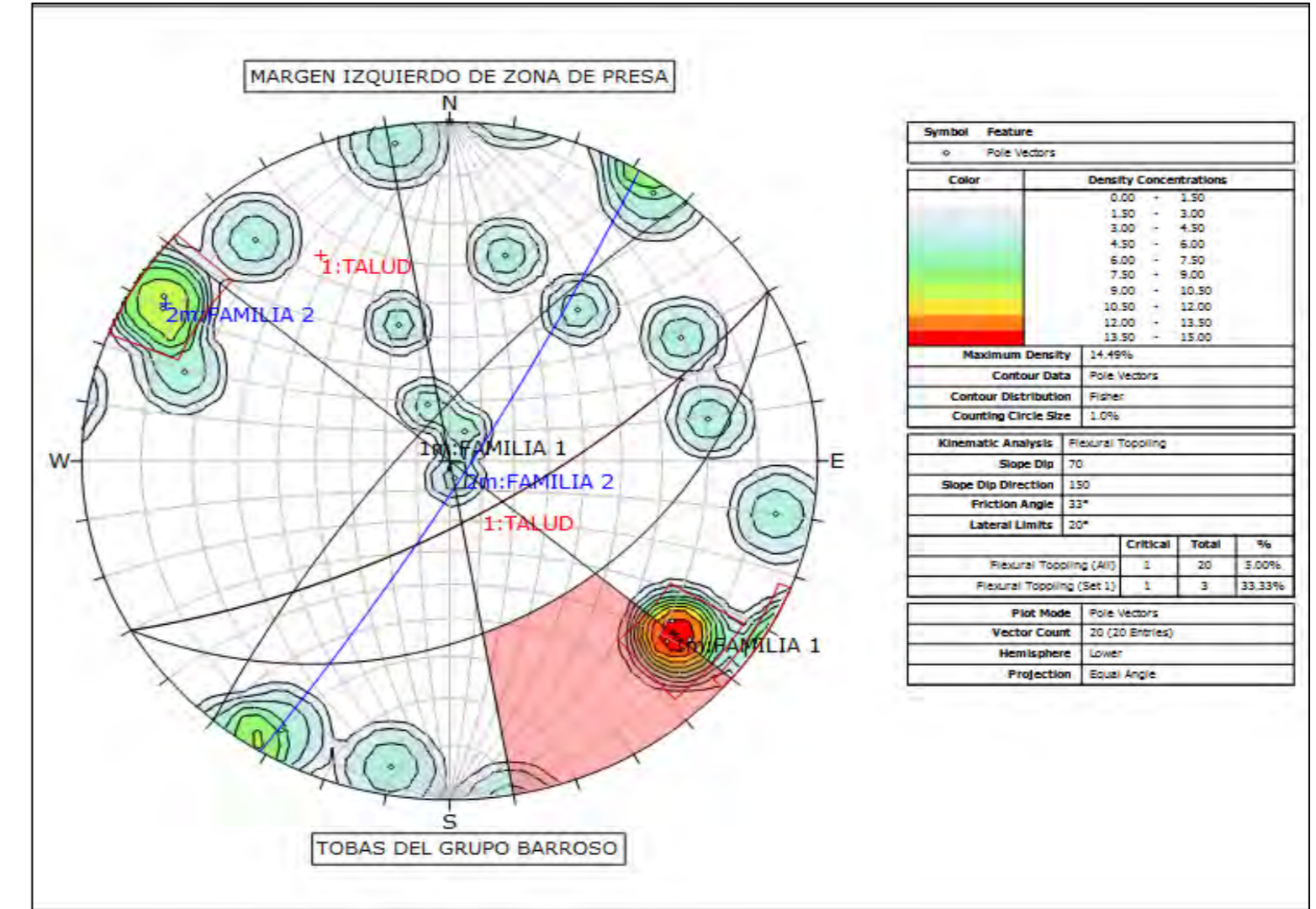
“MEJORAMIENTO Y AMPLIACIÓN DEL SERVICIO DE AGUA POTABLE Y SANEAMIENTO DE LA CIUDAD DE ESPINAR, DISTRITO DE ESPINAR, PROVINCIA DE ESPINAR – CUSCO”

FICHA DE ESTACION GEOMECÁNICA 06

COORDENADAS: X: 235937 Y: 8349591 Z: 4028 ESTACIÓN N°: EG-06
 FECHA: 19/05/2024 Calidad de afloramiento: BUENA

MEDIDAS	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
Tipo de Plano	F1A	F1B	F1C	FR1	FR2	FR3	FR4	FR5	FR6	FR7									
Dirección de Buza.	312	309	308	171	260	141	280	194	120	122									
Buzamiento	77	80	75	87	71	80	84	64	84	85									
ESPACIADO																			
> 2000 mm																			
600 - 2000 mm	X	X	X																
200 - 600 mm				X	X	X	X	X	X										
60 - 200 mm										X									
< 60 mm																			
CONTINUIDAD																			
< 1 m																			
1-3 m	X				X	X		X	X										
3-10 m		X	X	X					X	X									
10-20 m																			
>20 m																			
APERTURA																			
Nada																			
< 0,1 mm										X									
0,1-1,0 mm							X	X	X										
1-5 mm	X	X	X	X	X														
> 5 mm																			
RUGOSIDAD																			
Ondulación	LR	LR	LR	LR	LR	LR	LR	LR	LR	LR									
JRC	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6									
METOR. JUNTA																			
Grado	II	II	II	II	II	II	II	II	II	II									
AGUA																			
Seco																			
Lig. humedo																			
Humedo	X	X		X	X		X	X											
Goteando			X			X													
Fluyendo									X	X									
RELLENO																			
Naturaleza					SUAVE														
Espesor mm	1	1	1	1	2	<1	<1	1	<1	<1									

LITOLOGIA: IGNIMBRITA FORMACIÓN: CALDERA CAYLLOMA
 METEORIZACION: Grado II RESISTENCIA: R3 = Media



CARACTERIZACIÓN DEL MACIZO ROCOSO - RMR (Bieniawski 1989)

OBTENCIÓN RMR BÁSICO		VALORACIÓN MÍNIMA		VALORACIÓN MÁXIMA		
		DATOS	VAL.	DATOS	VAL.	
RMR 1	Resistencia a compr. simple (MPa) Laboratorio	Grado III	4	Grado III	4	
RMR 2	Fracturas/metro lineal (λ) RQD	3 96	3 19	1 100	1 20	
RMR 3	Espaciado (mm)	400	10	1000	14	
RMR 4	Estado de las juntas	Persistencia	3-10 m	2	1-3 m	4
		Apertura	1-5 mm	1	0,1-1,0 mm	4
		Rugosidad	Ligeramente Rugosa	3	Ligeramente Rugosa	3
		Relleno	Relleno duro > 5 mm	2	Relleno duro < 5 mm	4
		Alteración	Ligeramente alterado	5	Ligeramente alterado	5
	Suma		13		20	
RMR 5	Presencia de agua	Estado Seco	15	Estado Seco	15	
		Total	61	Total	73	

RMR Básico	61	a	73
GSI	56	a	68

FOTOGRAFIA DE LA ESTACION GEOMECÁNICA



“MEJORAMIENTO Y AMPLIACIÓN DEL SERVICIO DE AGUA POTABLE Y SANEAMIENTO DE LA CIUDAD DE ESPINAR, DISTRITO DE ESPINAR, PROVINCIA DE ESPINAR – CUSCO”

ANEXO D
ENSAYOS DE
PERMEABILIDAD
(LEFRANC Y LUGEON)

PROYECTO: "Mejoramiento y Ampliación del Servicio de Agua Potable y Saneamiento de la Ciudad de Espinar, Distrito Espinar, Provincia Espinar - Cusco"

SUPERVISOR: T.V.Q.
GEÓLOGO: T.V.Q.

FECHA Y HORA DE INICIO: 28/05/2024; 17:15
FECHA Y HORA DE FIN: 28/05/2024; 17:45
CONDICIONES METEOROLÓGICAS: SOLEADO
OBSERVACIONES:

ENSAYO REALIZADO EN EL VASO DE LA PRESA

LOCALIDAD (Provincia): Huayllumayo
LOCALIZACIÓN DEL SONDEO: Margen derecho de vaso de presa
COORDENADAS (X,Y,Z): 236034, 8349441, 4041

CODIGO DE PRUEBA: CPH-01-LEFRAN-01

COLUMNA LITOLÓGICA DEL SONDEO

COTA	PROFUNDIDAD (m)	MUESTRA	NATURALEZA DEL TERRENO	OBSERVACIONES
0.00m	0.10 m.		(PI) Suelo orgánico, limoso con arenas de origen aluvial	
0.50m	0.4 m.		(GP-GM) textura franco limosa, pardo oscuro, ligeramente húmedo, compresión baja, fragmentos max. 8cm, grava mal graduada, subanguloso, grava 50%, arena 20%, limo 25%, finos 5%	
1.00m	0.78 m.		(GP-GC) Arcilla con gravas, textura franco arcillosa, color pardo oscuro, presenta humedad, compacidad alta, cohesivo, presenta dificultad para desmenuzarse con la mano, gravas sub angulosas monomíticas, de origen aluvial, arcilla 75%, gravas 30%, limo 5%.	
1.50m	1.10 m.		(SC-SM) Arena con Gravas, color pardo oscuro, textura granular, presenta compacidad baja, se disgrega con las presiones de las manos, humedad baja, arena 70%, grava 15%, limos 15%	
1.50m	1.50 m.		Bolonería con matriz limoarenosa, de origen monomítico, mal graduado, fragmentos de tamaño max. de 27 cm, tamaño promedio 12 cm.	



ENSAYO DE PERMEABILIDAD LEFRANC A CARGA VARIABLE (con; h/d >4)

DATOS DEL SONDEO

Diámetro interior de la entubación o del sondeo (mm): d	51
Profundidad del nivel freático (m): F	1.50
Altura de agua sobre el terreno cuando se inicia la recuperación (m): I	0.60

PROFUNDIDAD DEL TRAMO ENSAYADO

Superior (m): L	0.60	Longitud ensayada (m): h	0.10
Inferior (m): P	0.70		

DATOS DEL ENSAYO

Tiempo (min.): t	11.0	Tiempo (s):	660
Profundidad inicial (m.): Hi	1.30		
Profundidad final (m.): Hf	1.29		
Diámetro interior de la entubación o del sondeo (m):	0.051		

Tiempo (min.)	Intervalo de tiempo (min.)	Descenso acumulado del nivel (cm)	Descenso del nivel (cm)	Altura del nivel (m):
1	1	0.14	0.14	1.30
2	1	0.23	0.09	1.30
3	1	0.29	0.06	1.30
4	1	0.35	0.06	1.30
5	1	0.42	0.07	1.30
6	1	0.48	0.06	1.30
7	1	0.54	0.06	1.29
8	1	0.60	0.06	1.29
9	1	0.66	0.06	1.29
10	1	0.75	0.09	1.29
11	1	0.80	0.05	1.29

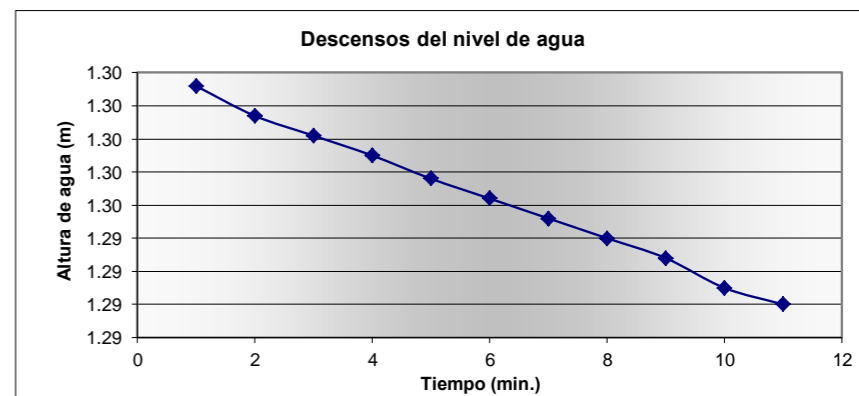
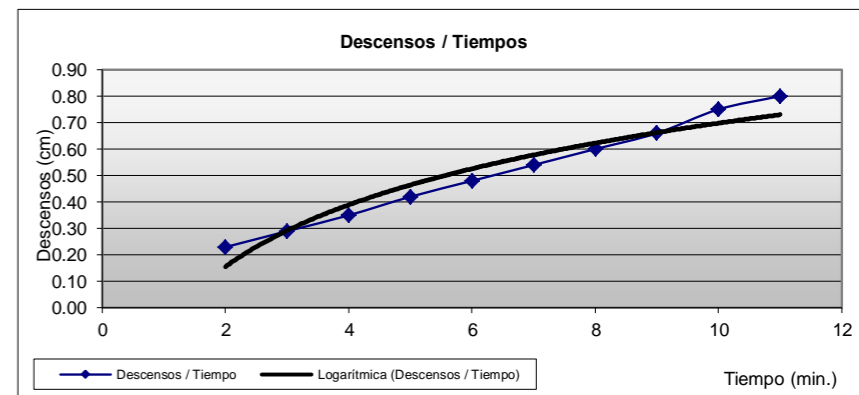
RESULTADOS

PERMEABILIDAD LEFRANC	K (m/s) =	3.4300E-08
-----------------------	-----------	------------

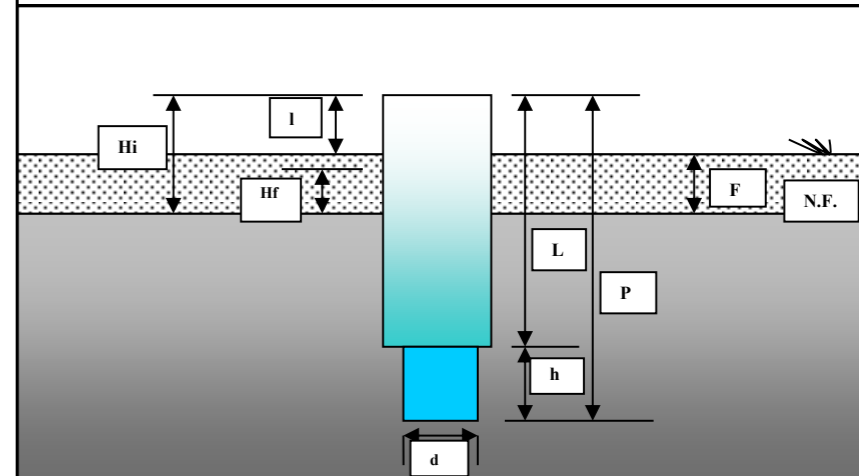
Jiménez Salas (1981).

para h/d > 4:

$$K = \frac{(d)^2 \cdot \ln\left(\frac{2h}{d}\right)}{8 \cdot h \cdot t} \cdot \ln \frac{Hi}{Hf}$$



ESQUEMA DEL ENSAYO



Leyenda:

Normativa:
Ensayo Lefranc. ASTM D4631-95(2000)

PROYECTO: "Mejoramiento y Ampliación del Servicio de Agua Potable y Saneamiento de la Ciudad de Espinar, Distrito Espinar, Provincia Espinar - Cusco"

SUPERVISOR: T.V.Q.
 GEÓLOGO: T.V.Q.
 CODIGO DE PRUEBA: CPH-06-LEFRAN-01

FECHA Y HORA DE INICIO: 29/05/2024_15:25
 FECHA Y HORA DE FIN: 28/05/2024_15:45
 CONDICIONES METEOROLÓGICAS: SOLEADO
 OBSERVACIONES:

ENSAYO REALIZADO EN EL VASO DE LA PRESA

LOCALIDAD (Provincia): Huayllumayo
 LOCALIZACIÓN DEL SONDEO: Margen derecho de vaso de presa
 COORDENADAS (X,Y,Z): 235995, 8349399, 4044

COLUMNA LITOLÓGICA DEL SONDEO

COTA	PROFUNDIDAD (m)	MUESTRA	NATURALEZA DEL TERRENO	OBSERVACIONES
0.00m	0.10 m.		(P1) Suelo orgánico, limoso con arenas de origen aluvial	
0.50m	0.60 m.		(GM-GC) Grava limosa con arenas, textura granular, fragmentos sub angulosos de origen aluvial, de matriz limosa, mal graduada, monominérgicos, color pardo grisáceo, arena media mal graduada, presenta orgánicos de forma esporádica, grava 50%, limos 30%, Arenas 15%, finos 05%.	
1.00m	1.10 m.		(GP-GC) Arcilla con gravas, de color pardo oscuro, de textura franco limosa, presenta humedad media, cohesión alta, compacidad alta, difícilmente se disgrega con la mano. Arcilla 55 %, Gravas 25%, 20% limos	
	1.30 m.		Bolonieta con matriz limoarenosa, de origen monominérgico, mal graduado, fragmentos de tamaño más de 20 cm, tamaño promedio 10 cm.	



ENSAYO DE PERMEABILIDAD LEFRANC A CARGA VARIABLE (con; h/d >4)

DATOS DEL SONDEO

Diámetro interior de la entubación o del sondeo (mm): d	51
Profundidad del nivel freático (m): F	1.50
Altura de agua sobre el terreno cuando se inicia la recuperación (m): I	0.60

PROFUNDIDAD DEL TRAMO ENSAYADO

Superior (m): L	0.60	Longitud ensayada (m): h	0.10
Inferior (m): P	0.70		

DATOS DEL ENSAYO

Tiempo (min.): t	11.0	Tiempo (s):	660
Profundidad inicial (m.): Hi	1.30		
Profundidad final (m.): Hf	1.28		
Diámetro interior de la entubación o del sondeo (m):	0.051		

Tiempo (min.)	Intervalo de tiempo (min.)	Descenso acumulado del nivel (cm)	Descenso del nivel (cm)	Altura del nivel (m):
1	1	0.18	0.18	1.30
2	1	0.38	0.20	1.30
3	1	0.56	0.18	1.29
4	1	0.72	0.16	1.29
5	1	0.90	0.18	1.29
6	1	1.06	0.16	1.29
7	1	1.25	0.19	1.29
8	1	1.42	0.17	1.29
9	1	1.57	0.15	1.28
10	1	1.75	0.18	1.28
11	1	1.92	0.17	1.28

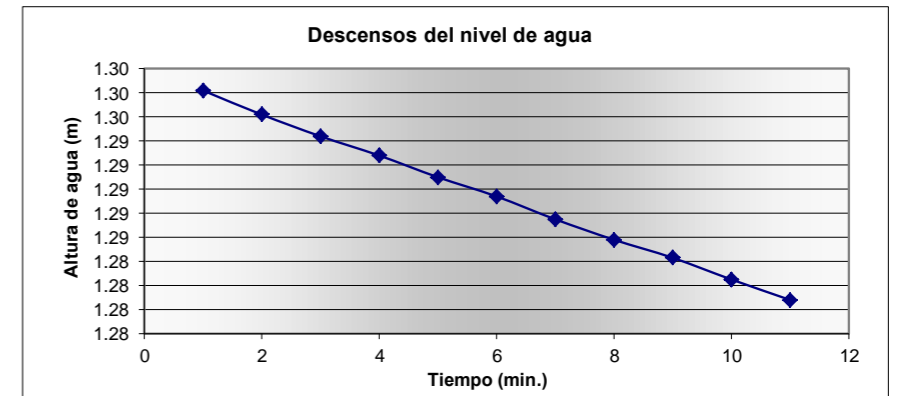
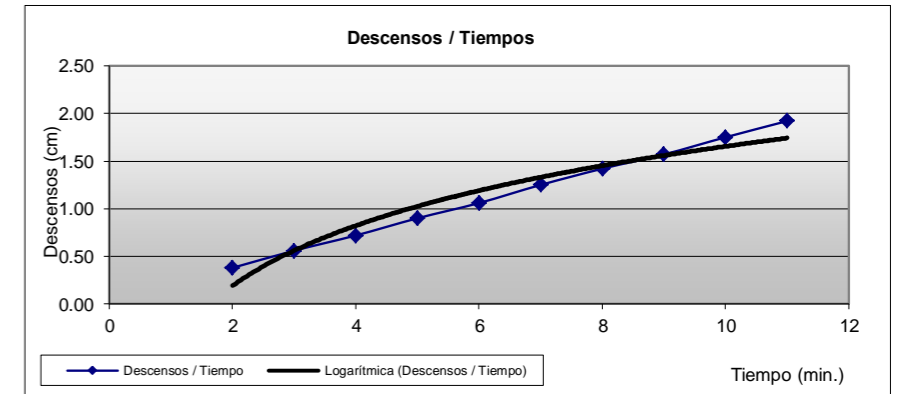
RESULTADOS

PERMEABILIDAD LEFRANC K (m/s) = 9.0834E-08

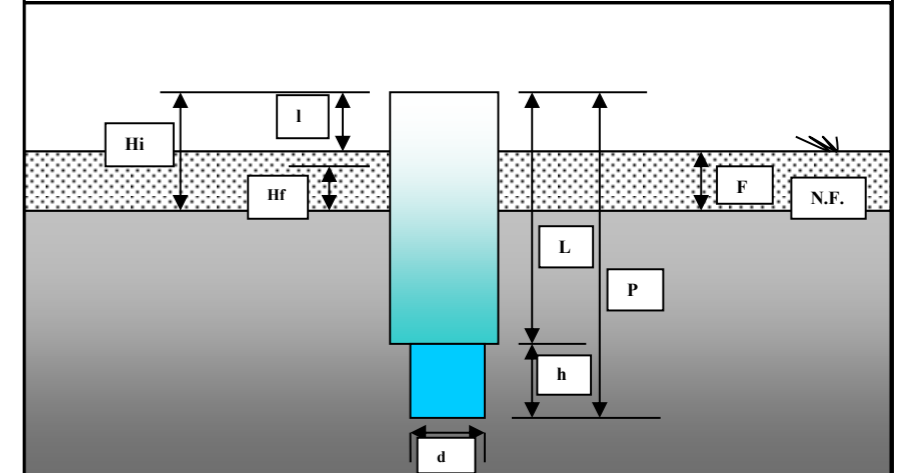
Jiménez Salas (1981).

para h/d > 4:

$$K = \frac{(d)^2 \cdot \ln\left(\frac{2h}{d}\right)}{8 \cdot h \cdot t} \cdot \ln\left(\frac{H_i}{H_f}\right)$$



ESQUEMA DEL ENSAYO



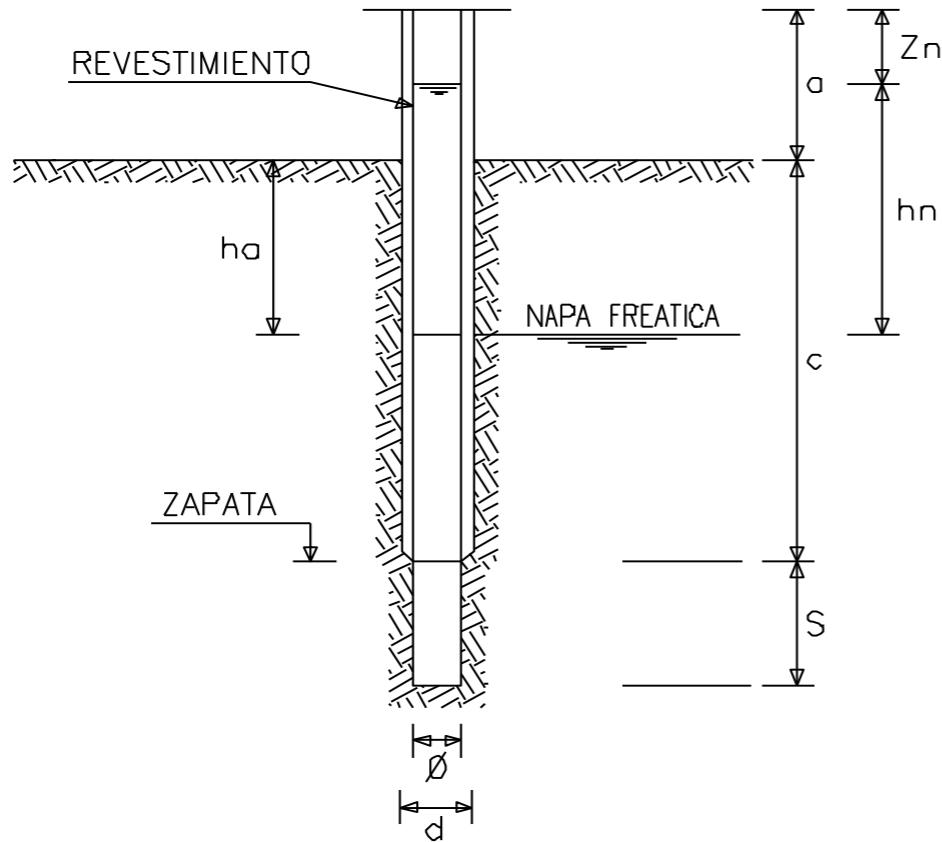
Leyenda:

Normativa:
 Ensayo Lefranc. ASTM D4631-95(2000)

ENSAYO DE PERMEABILIDAD TIPO LEFRANC

ZONDAJE : DHPH-05
CODIGO : DHPH-05 LEFRANC 02 **TRAMO DE ENSAYO DE** 0.00 A 9.20
INCLINACION : 90 ° **FECHA** 25/05/2024 **HORA INCIO** 10:47:00 a.m.
CORDENADAS **HORA FIN** 10:10:00 a.m.
E : 235986 **TRAMO DE ENSAYO** 9.20 m.
N : 8349547 **PROF. DE PERFORACION** 9.20 m.
ALTITUD : 4028.0 m.s.n.m. **PROF. NIVEL FREATICO** 0.00 m.

PROYECTO: "MEJORAMIENTO Y AMPLIACIÓN DEL SERVICIO DE AGUA POTABLE Y SANEAMIENTO DE LA CIUDAD DE ESPINAR, ESPINAR, DISTRITO DE ESPINAR, PROVINCIA DE ESPINAR – CUSCO"
UBICACIÓN: DEP.: CUSCO PROV.: ESPINAR DIST.: ESPINAR LOC. HUAYLLUMAYO
AREA: EJE DE PRESA



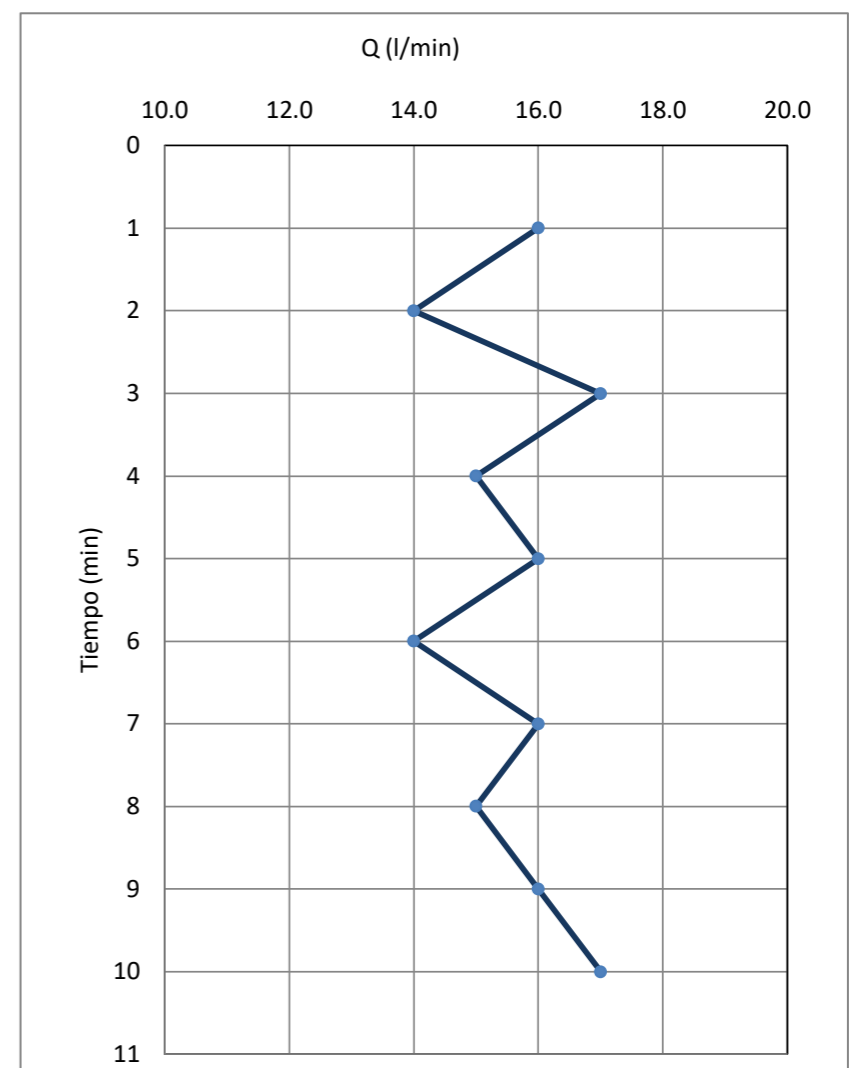
ENSAYO REALIZADO	
ABAJO DE LA NF	
ARRIBA DE LA NF	X

TIPO DE ENSAYO	
INFILTRACION	
BOMBEO	X

a : Altura de tubería saliente 0.24 m
c : Long. de tubería en el interior del taladro 0.00 m
Zn : Longitud de equilibrio para ensayo 0.00 m
S : tramo de ensayo 9.20 m
ha : Profundidad nivel freático 0.00 m
d : Diámetro interior del tubo de perforación 9.60 cm
Ø : Diámetro del sondeo 11.10 cm
β : inclinación con la horizontal 90 °
hn : Sobrecarga hidráulica en el tiempo n. 4.84 m
hn=ha+a-Zn, para prueba debajo de NF
hn=0.5*S+ c+a-Zn, Para prueba sobre NF
H : Sobre carga hidráulica corregida 4.84 m
H = Sen β x hn
Z : lectura de la sonda de nivel de agua en el taladro
Con S/Ø = 0.12

NIVEL CONSTANTE			NIVEL VARIABLE			
tiempo en (min)	lectura del caudal	Q (l/min)	Z (cm)	Tr - Ti (s)	Zf - Zi (cm)	Q (cm3/s)
0	8150.00					
1	8166.00	16.00				
2	8180.00	14.00				
3	8197.00	17.00				
4	8212.00	15.00				
5	8228.00	16.00				
6	8242.00	14.00				
7	8258.00	16.00				
8	8273.00	15.00				
9	8289.00	16.00				
10	8306.00	17.00				

Qpro = 15.60 l/min



CALCULO DEL CAUDAL

NIVEL VARIABLE $Q = \frac{\pi \cdot d^2}{4 \times 60} \times \frac{(Z_f - Z_i)}{(t_f - t_i)}$ **Q =** 260.00 cm3/s

NIVEL CONSTANTE **Q =** 260.00 cm3/s

CALCULO DE LA PERMEABILIDAD

Con $S/\phi < 2$ $K = \frac{Q}{\pi \phi H}$ Con $S/\phi = 2$ $K = \frac{Q}{2 \pi \phi H \sqrt{\frac{S}{\phi} + \frac{1}{4}}}$
 $Q \cdot \ln\left(\frac{2S}{\phi}\right)$
 Con $S/\phi > 2$ $K = \frac{Q}{2 \pi HS}$

NIVEL VARIABLE **K =** 1.54E-02 cm/s

NIVEL CONSTANTE **K =** 1.54E-02 cm/s

Observaciones:

V°B° OPERADOR

V°B° SUPERVISOR

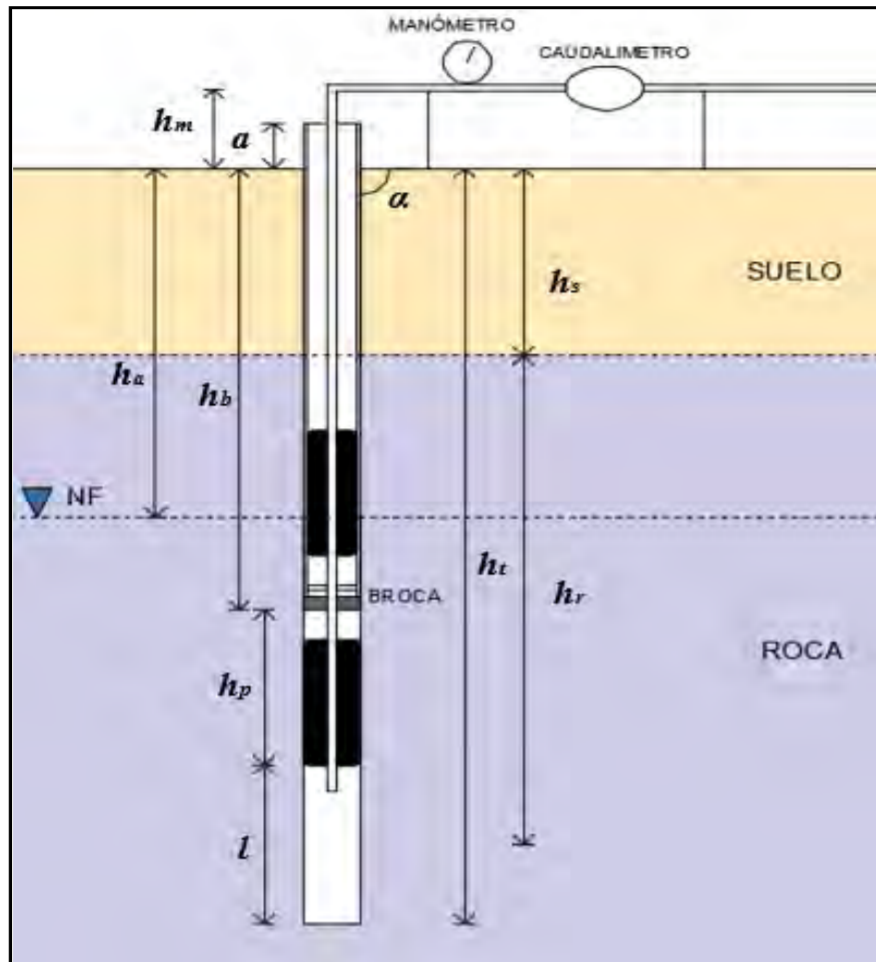
ENSAYO DE PERMEABILIDAD TIPO LUGEON
CODIGO DE PRUEBA: DHPH02-LUGEON 01

Proyecto:	"MEJORAMIENTO Y AMPLIACIÓN DEL SERVICIO DE AGUA POTABLE Y SANEAMIENTO DE LA CIUDAD DE ESPINAR, DISTRITO DE ESPINAR, PROVINCIA DE ESPINAR – CUSCO"
Ubicación:	HUAYLLUMAYO

DATOS DEL TALADRO			
Taladro:	DHPH-02	Ubicación:	P.HUAYLLUMAYO
Norte:	8349547	Inclinación:	90°
Este:	235986	Díametro :	11.10 cm.
Elevación:	4028 m.s.n.m.	NF :	16.93 m.

Nota: si no se encontro NF colocar seco

DATOS DEL ENSAYO					
Fecha:	25-may-24	hb:	15.60 m.	H suelo:	11.00 m.
Hora inicio:	11:25	ht:	17.60 m.	γsuelo:	1500 kg/cm3
Hora fin:	12:20	Tramo (l):	1.00 m.	H roca:	6.10 m.
hp :	1.00 m.	RQD:	90%	γroca:	1630 kg/cm3
hm :	0.50 m.	a (m):	0.60 m.	γagua:	1000 kg/cm3



Presión de inflado del packer = Pp

a: Altura sobresaliente de la tubería = 0.60 m
hb: Profundidad de la broca = 15.6 m
hp: Longitud del packer en roca = 1.0 m
Pw: Presión de trabajo del packer = 200.0 psi
Ph: Presión hidrostática del packer = 24.94 psi

convertir 1m = 1.45psi
Pp = 269.9 psi = 18.6 Bar

Maxima presión admisible = Pmax

hs: Profundidad del suelo perforado = 11.00 m
hr: Profundidad de la roca perforada = 6.10 m
ha: Nivel freático = 16.93 m
Δh: sobre carga hidráulica = 17.43 m
Δh = hm+ht-l/2 para pozo seco
Δh = hm+ha para pozo con NF

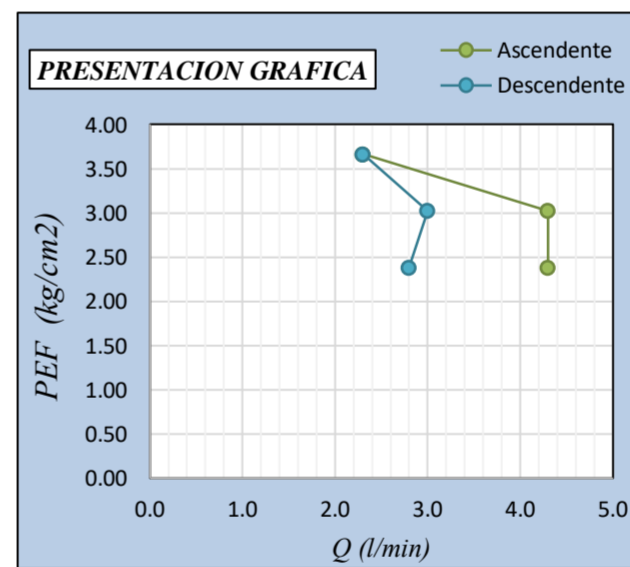
σt = 26443 kg/cm2 σ' = 26273 kg/cm2 Pmax = 26103 kg/cm2
U = 170 kg/cm2 Hg = 17430 kg/cm2 **Pmax = 37.1 psi = 2.6 Bar**

RQD ≥ 75% P1=P5 = 0.25*Pmc RQD < 75% P1=P5 = 0.20*Pmc **P1 = 9.3 psi = 0.6 Bar**
P2=P4 = 0.50*Pmax P2=P4 = 0.40*Pmc **P2 = 18.6 psi = 1.3 Bar**
P3 = 0.75*Pmax P3 = 0.60*Pmc **P3 = 27.8 psi = 1.9 Bar**

tiempo en min	P1 9.3 psi / 0.6 Bar		P2 18.6 psi / 1.3 Bar		P3 27.8 psi / 1.9 Bar		P4 18.6 psi / 1.3 Bar		P5 9.3 psi / 0.6 Bar	
	lectura de caudal	Q (l/min)	lectura de caudal	Q (l/min)	lectura de caudal	Q (l/min)	lectura de caudal	Q (l/min)	lectura de caudal	Q (l/min)
0	4108.00		4159.00		4210.00		4235.00		4268.00	
1	4109.00	1.00	4163.00	4.00	4212.00	2.00	4238.00	3.00	4271.00	3.00
2	4116.00	7.00	4168.00	5.00	4214.00	2.00	4241.00	3.00	4274.00	3.00
3	4121.00	5.00	4172.00	4.00	4217.00	3.00	4244.00	3.00	4276.00	2.00
4	4125.00	4.00	4177.00	5.00	4220.00	3.00	4247.00	3.00	4279.00	3.00
5	4129.00	4.00	4181.00	4.00	4222.00	2.00	4250.00	3.00	4282.00	3.00
6	4133.00	4.00	4185.00	4.00	4224.00	2.00	4253.00	3.00	4285.00	3.00
7	4137.00	4.00	4190.00	5.00	4226.00	2.00	4256.00	3.00	4288.00	3.00
8	4141.00	4.00	4194.00	4.00	4229.00	3.00	4259.00	3.00	4290.00	2.00
9	4146.00	5.00	4198.00	4.00	4231.00	2.00	4262.00	3.00	4293.00	3.00
10	4151.00	5.00	4202.00	4.00	4233.00	2.00	4265.00	3.00	4296.00	3.00
11										
12										
13										
14										
15										

qt (l/min)	43.00	43.00	23.00	30.00	28.00
q (l/min)	4.30	4.30	2.30	3.00	2.80
Q (l/min/m)	4.30	4.30	2.30	3.00	2.80
Δp (kg/cm2)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
CH (Δh/10)	1.74	1.74	1.74	1.74	1.74
PEF (kg/cm2)	2.38	3.02	3.66	3.02	2.38
UL (PEF/Q)	18.04	14.22	6.28	9.92	11.75

1 UL



Notas importantes:

- presión máxima permisible no debe superar 3.28psi/m
- No se toma en cuenta la presión de poros
- Se recomienda que el tramo de ensayo no debe de ser mayor de 5 metros
- Cuando el taladro está inclinado se debe de corregir las alturas según: Hsen(α)
- El incremento de la presión depende del RQD
- La prueba se desarrolla para rocas con RQD > 60%
- Esperar a que el caudal alcance un equilibrio constante antes de tomar lecturas
- Calibrar el caudalímetro antes de usar
- Cuando el taladro está saturado desde el inicio ha = 0.0m.

$PEF = (PM - \Delta p) + CH$

clasificación del valor de Lugeon representativo (Houlsby 1976)

0 - 1 UL	Muy Favorable
1 - 3 UL	Favorable
3 - 10 UL	Desfavorable
> 10 UL	Muy Desfavorable

Shimizu (1985)

Tipo de Flujo:	Relleno
Unidad de Lugeon:	6.3 UL
Permeabilidad:	1.51E-04 cm/s
Condición:	Desfavorable

NOTA:

V°B° CONTRATISTA

Nombre:

V°B° COMPAÑIA

Nombre:

ENSAYO DE PERMEABILIDAD TIPO LUGEON

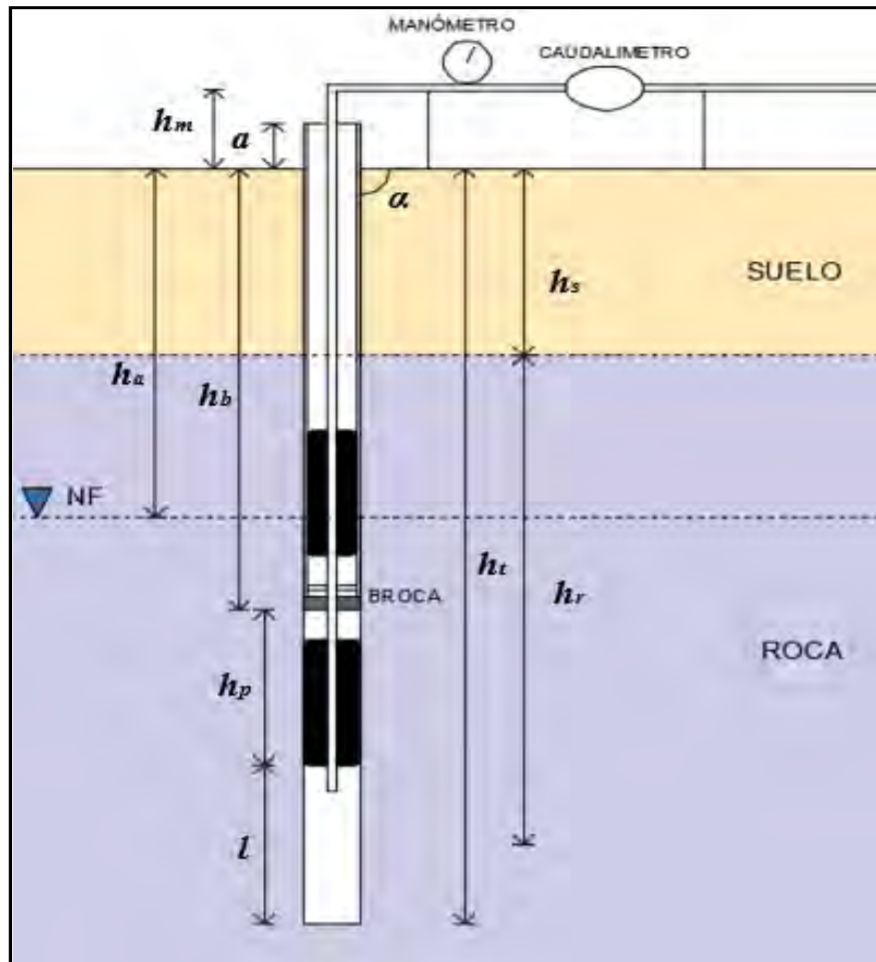
CODIGO DE PRUEBA: **DHPH02-02**

Proyecto: "MEJORAMIENTO Y AMPLIACIÓN DEL SERVICIO DE AGUA POTABLE Y SANEAMIENTO DE LA CIUDAD DE ESPINAR, DISTRITO DE ESPINAR, PROVINCIA DE ESPINAR – CUSCO"
Ubicación: HUAYLLUMAYO

DATOS DEL TALADRO			
Taladro:	DHPH-02	Ubicación:	P.HUAYLLUMAYO
Norte:	8349547	Inclinación:	90°
Este:	235986	Diametro :	11.10 cm.
Elevación:	4028 m.s.n.m.	NF:	23.93 m.

Nota: si no se encontro NF colocar seco

DATOS DEL ENSAYO			
Fecha:	25-may-24	hb:	23.00 m.
Hora inicio:	11:25	ht:	25.20 m.
Hora fin:	12:20	Tramo (l):	1.20 m.
hp :	1.00 m.	RQD:	100%
hm :	0.50 m.	a (m):	0.70 m.
		H suelo:	11.00 m.
		γsuelo:	1500 kg/cm3
		H roca:	13.60 m.
		γroca:	1630 kg/cm3
		γagua:	1000 kg/cm3



Presion de inflado del packer = Pp

a: Altura sobresaliente de la tubería = 0.70 m
 hb: Profundidad de la broca = 23.0 m
 hp: Longitud del packer en roca = 1.0 m
 Pw: Presion de trabajo del packer = 200.0 psi
 Ph: Presion hidrostática del packer = 35.815 psi

convertir 1m = 1.45psi
 $P_p = 283.0 \text{ psi} = 19.5 \text{ Bar}$

Maxima presion admisible = Pmax

hs: Profundidad del suelo perforado = 11.00 m
 hr: Profundidad de la roca perforada = 13.60 m
 ha: Nivel freático = 23.93 m
 Δh: sobre carga hidráulica = 24.43 m
 Δh = hm + ht - l/2 para pozo seco
 Δh = hm + ha para pozo con NF

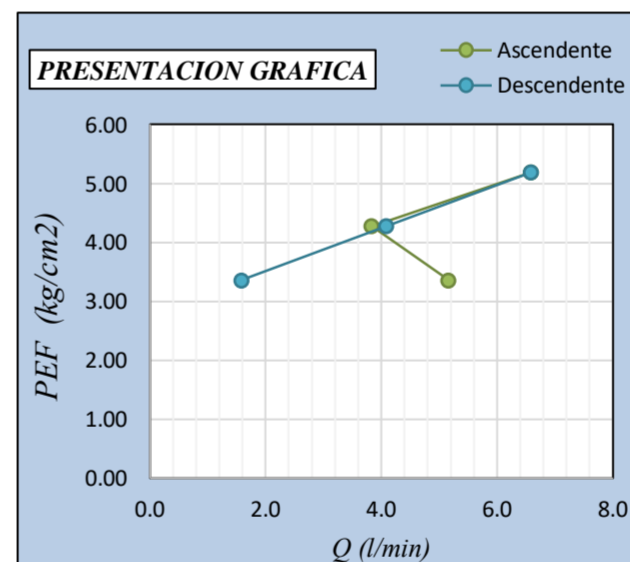
$\sigma_t = 38668 \text{ kg/cm}^2$ $\sigma' = 37998 \text{ kg/cm}^2$ $P_{max} = 37328 \text{ kg/cm}^2$
 $U = 670 \text{ kg/cm}^2$ $H_g = 24430 \text{ kg/cm}^2$ $P_{max} = 53.1 \text{ psi} = 3.7 \text{ Bar}$

RQD ≥ 75% $P_1 = P_5 = 0.25 * P_{mc}$ RQD < 75% $P_1 = P_5 = 0.20 * P_{mc}$ $P_1 = 13.3 \text{ psi} = 0.9 \text{ Bar}$
 $P_2 = P_4 = 0.50 * P_{max}$ $P_2 = P_4 = 0.40 * P_{mc}$ $P_2 = 26.5 \text{ psi} = 1.8 \text{ Bar}$
 $P_3 = 0.75 * P_{max}$ $P_3 = 0.60 * P_{mc}$ $P_3 = 39.8 \text{ psi} = 2.7 \text{ Bar}$

tiempo en min	P1 13.3 psi / 0.9 Bar		P2 26.5 psi / 1.8 Bar		P3 39.8 psi / 2.7 Bar		P4 26.5 psi / 1.8 Bar		P5 13.3 psi / 0.9 Bar	
	lectura de caudal	Q (l/min)	lectura de caudal	Q (l/min)	lectura de caudal	Q (l/min)	lectura de caudal	Q (l/min)	lectura de caudal	Q (l/min)
0	4130.00	6.00	4211.00	1.00	4365.00	6.00	4470.00	5.00	4525.00	2.00
1	4136.00	6.00	4212.00	1.00	4371.00	6.00	4475.00	5.00	4527.00	2.00
2	4142.00	6.00	4215.00	3.00	4378.00	7.00	4481.00	6.00	4529.00	2.00
3	4148.00	6.00	4219.00	4.00	4386.00	8.00	4486.00	5.00	4531.00	2.00
4	4154.00	6.00	4226.00	7.00	4393.00	7.00	4491.00	5.00	4533.00	2.00
5	4161.00	7.00	4231.00	5.00	4401.00	8.00	4496.00	5.00	4534.00	1.00
6	4167.00	6.00	4236.00	5.00	4408.00	7.00	4501.00	5.00	4536.00	2.00
7	4173.00	6.00	4241.00	5.00	4417.00	9.00	4505.00	4.00	4538.00	2.00
8	4180.00	7.00	4247.00	6.00	4426.00	9.00	4510.00	5.00	4540.00	2.00
9	4186.00	6.00	4252.00	5.00	4435.00	9.00	4515.00	5.00	4542.00	2.00
10	4192.00	6.00	4257.00	5.00	4444.00	9.00	4519.00	4.00	4544.00	2.00
11										
12										
13										
14										
15										

qt (l/min)	62.00	46.00	79.00	49.00	19.00
q (l/min)	6.20	4.60	7.90	4.90	1.90
Q (l/min/m)	5.17	3.83	6.58	4.08	1.58
Δp (kg/cm2)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
CH (Δh/10)	2.44	2.44	2.44	2.44	2.44
PEF (kg/cm2)	3.36	4.27	5.19	4.27	3.36
UL (PEF/Q)	15.38	8.97	12.69	9.55	4.71

1 UL



Notas importantes:

- presión máxima permisible no debe superar 3.28psi/m
- No se tomo en cuenta la presion de poros
- Se recomienda que el tramo de ensayo no debe de ser mayor de 5metros
- Cuando el taladro esta inclinado se debe de correguir las alturas según: Hsen(α)
- El incremento de la presion depende del RQD
- La prueba se desarrolla para rocas con RQD > 60%
- Esperar a que el caudal alcance un equilibrio constante antes de tomar lecturas
- Calibrara el caudalímetro antes de usar
- Cuando el taladro esta saturado desde el inicio ha = 0.0m.

$PEF = (PM - \Delta p) + CH$

clasificacion del valor de Lugeon representativo (Houlsby 1976)

0 - 1 UL	Muy Favorable
1 - 3 UL	Favorable
3 - 10 UL	Desfavorable
> 10 UL	Muy Desfavorable

Shimizu (1985)

Tipo de Flujo:	Relleno
Unidad de Lugeon:	4.7 UL
Permeabilidad:	1.21E-04 cm/s
Condición:	Desfavorable

NOTA:

V°B° CONTRATISTA

Nombre: _____

V°B° COMPAÑIA

Nombre: _____

ENSAYO DE PERMEABILIDAD TIPO LUGEON

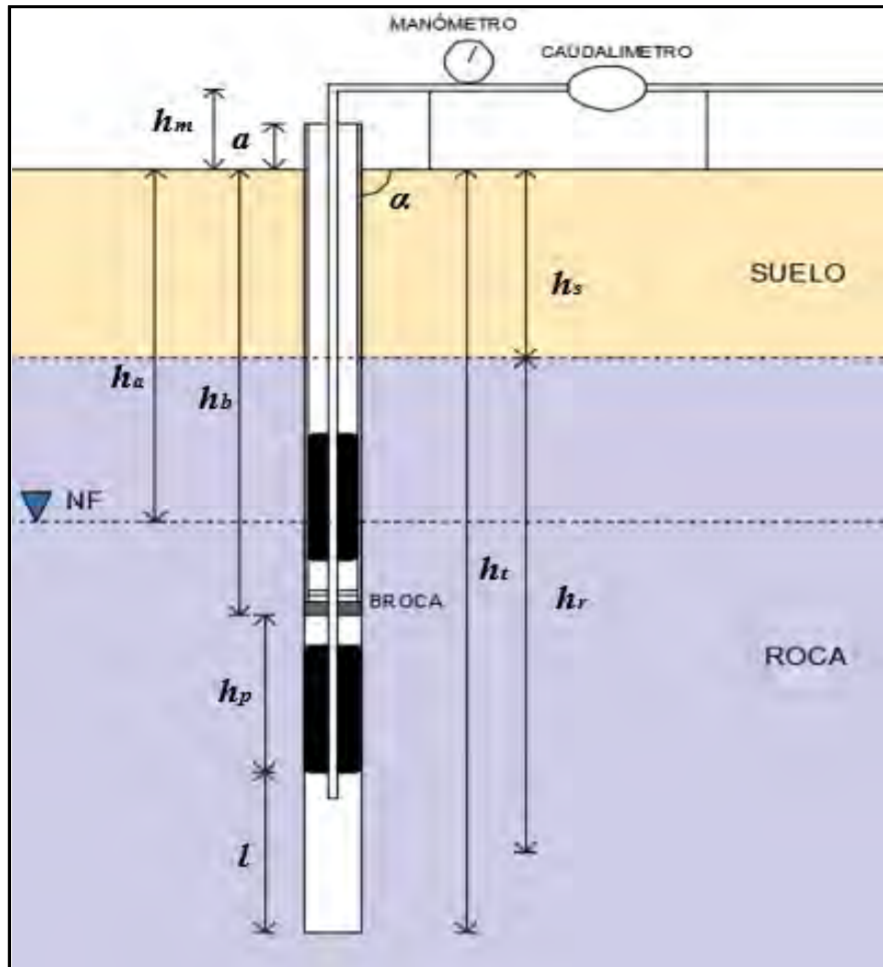
CODIGO DE PRUEBA: DPHP02-LUGEON-03

Proyecto: "MEJORAMIENTO Y AMPLIACIÓN DEL SERVICIO DE AGUA POTABLE Y SANEAMIENTO DE LA CIUDAD DE ESPINAR, DISTRITO DE ESPINAR, PROVINCIA DE ESPINAR – CUSCO"
Ubicación: HUAYLLUMAYO

DATOS DEL TALADRO			
Taladro:	DPHP-02	Ubicación:	P.HUAYLLUMAYO
Norte:	8349547	Inclinación:	90°
Este:	235986	Diametro:	11.10 cm.
Elevación:	4028 m.s.n.m.	NF:	30.55 m.

Nota: si no se encontro NF colocar seco

DATOS DEL ENSAYO					
Fecha:	25-may-24	hb:	29.00 m.	H suelo:	11.00 m.
Hora inicio:	17:30	ht:	31.20 m.	γ_{suelo} :	1500 kg/cm ³
Hora fin:	18:35	Tramo (l):	1.20 m.	H roca:	19.60 m.
hp:	1.00 m.	RQD:	90%	γ_{roca} :	1630 kg/cm ³
hm:	0.50 m.	a (m):	0.65 m.	γ_{agua} :	1000 kg/cm ³



Presión de inflado del packer = Pp

a: Altura sobresaliente de la tubería = 0.65 m
 hb: Profundidad de la broca = 29.00 m
 hp: Longitud del packer en roca = 1.00 m
 Pw: Presión de trabajo del packer = 200.0 psi
 Ph: Presión hidrostática del packer = 44.443 psi
 Pp = 293.3 psi = 20.2 Bar

convertir 1m = 1.45psi

Maxima presión admisible = Pmax

hs: Profundidad del suelo perforado = 11.00 m
 hr: Profundidad de la roca perforada = 19.60 m
 ha: Nivel freático = 30.55 m
 Ah: sobre carga hidráulica = 31.05 m
 Ah = hm + ht - l/2 para pozo seco
 Ah = hm + ha para pozo con NF

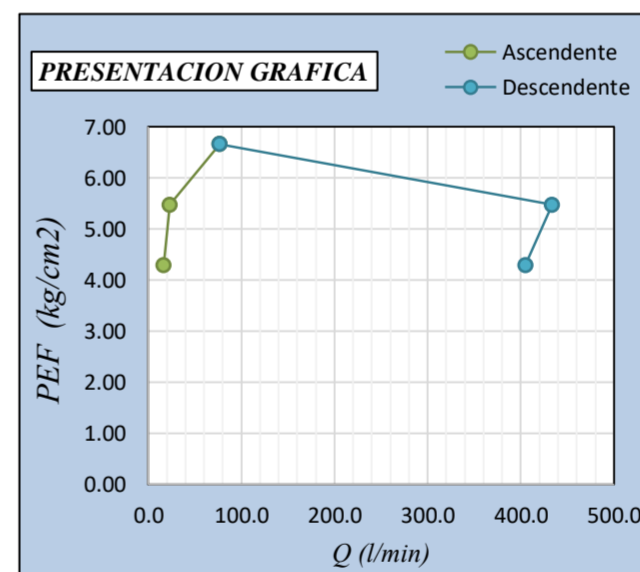
$\sigma_t = 48448 \text{ kg/cm}^2$ $\sigma' = 48398 \text{ kg/cm}^2$ $P_{\text{max}} = 48348 \text{ kg/cm}^2$
 U = 50 kg/cm² Hg = 31050 kg/cm² **Pmax = 68.8 psi = 4.7 Bar**

RQD ≥ 75% P1 = P5 = 0.25 * Pma RQD < 75% P1 = P5 = 0.20 * Pma **P1 = 17.2 psi = 1.2 Bar**
 P2 = P4 = 0.50 * Pmax P2 = P4 = 0.40 * Pma **P2 = 34.4 psi = 2.4 Bar**
 P3 = 0.75 * Pmax P3 = 0.60 * Pmax **P3 = 51.6 psi = 3.6 Bar**

tiempo en min	P1		P2		P3		P4		P5	
	lectura de caudal	Q (l/min)	lectura de caudal	Q (l/min)	lectura de caudal	Q (l/min)	lectura de caudal	Q (l/min)	lectura de caudal	Q (l/min)
0	4405.00	21.00	4615.00	27.00	4988.00	94.00	6120.00	520.00	11720.00	484.00
1	4426.00	21.00	4642.00	27.00	5082.00	93.00	6640.00	515.00	12204.00	481.00
2	4441.00	15.00	4670.00	28.00	5175.00	93.00	7155.00	515.00	12685.00	481.00
3	4456.00	15.00	4698.00	28.00	5266.00	91.00	7683.00	528.00	13171.00	486.00
4	4475.00	19.00	4726.00	28.00	5358.00	92.00	8205.00	522.00	13655.00	484.00
5	4497.00	22.00	4754.00	28.00	5450.00	92.00	8721.00	516.00	14141.00	486.00
6	4519.00	22.00	4782.00	28.00	5542.00	92.00	9240.00	519.00	14628.00	487.00
7	4541.00	22.00	4810.00	28.00	5634.00	92.00	9760.00	520.00	15116.00	488.00
8	4563.00	22.00	4838.00	28.00	5726.00	92.00	10282.00	522.00	15605.00	489.00
9	4585.00	22.00	4866.00	28.00	5818.00	92.00	10805.00	523.00	16091.00	486.00
10	4606.00	21.00	4894.00	28.00	5910.00	92.00	11324.00	519.00	16577.00	486.00
11										
12										
13										
14										
15										

qt (l/min)	201.00	279.00	922.00	5204.00	4857.00
q (l/min)	20.10	27.90	92.20	520.40	485.70
Q (l/min/m)	16.75	23.25	76.83	433.67	404.75
Δp (kg/cm ²)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
CH ($\Delta h/10$)	3.11	3.11	3.11	3.11	3.11
PEF (kg/cm ²)	4.29	5.48	6.66	5.48	4.29
UL (PEF/Q)	39.04	42.46	115.33	791.90	943.33

1 UL



Notas importantes:

1. presión máxima permisible no debe superar 3.28psi/m
2. No se tomo en cuenta la presión de poros
3. Se recomienda que el tramo de ensayo no debe de ser mayor de 5metros
4. Cuando el taladro esta inclinado se debe de correguir las alturas según: Hsen(a)
5. El incremento de la presión depende del RQD
6. La prueba se desarrolla para rocas con RQD > 60%
7. Esperar a que el caudal alcance un equilibrio constante antes de tomar lecturas
8. Calibrara el caudalimetro antes de usar
9. Cuando el taladro esta saturado desde el inicio ha = 0.0m.

$PEF = (PM - \Delta p) + CH$

clasificación del valor de Lugeon representativo (Houlsby 1976)

0 - 1 UL Muy Favorable
 1 - 3 UL Favorable
 3 - 10 UL Desfavorable
 > 10 UL Muy Desfavorable

Shimizu (1985)

Tipo de Flujo:	Erosión
Unidad de Lugeon:	943.3 UL
Permeabilidad:	2.42E-02 cm/s
Condición:	Muy Desfavorable

NOTA:

Nombre: _____
 V°B° CONTRATISTA

Nombre: _____
 V°B° COMPAÑÍA

ENSAYO DE PERMEABILIDAD TIPO LUGEON

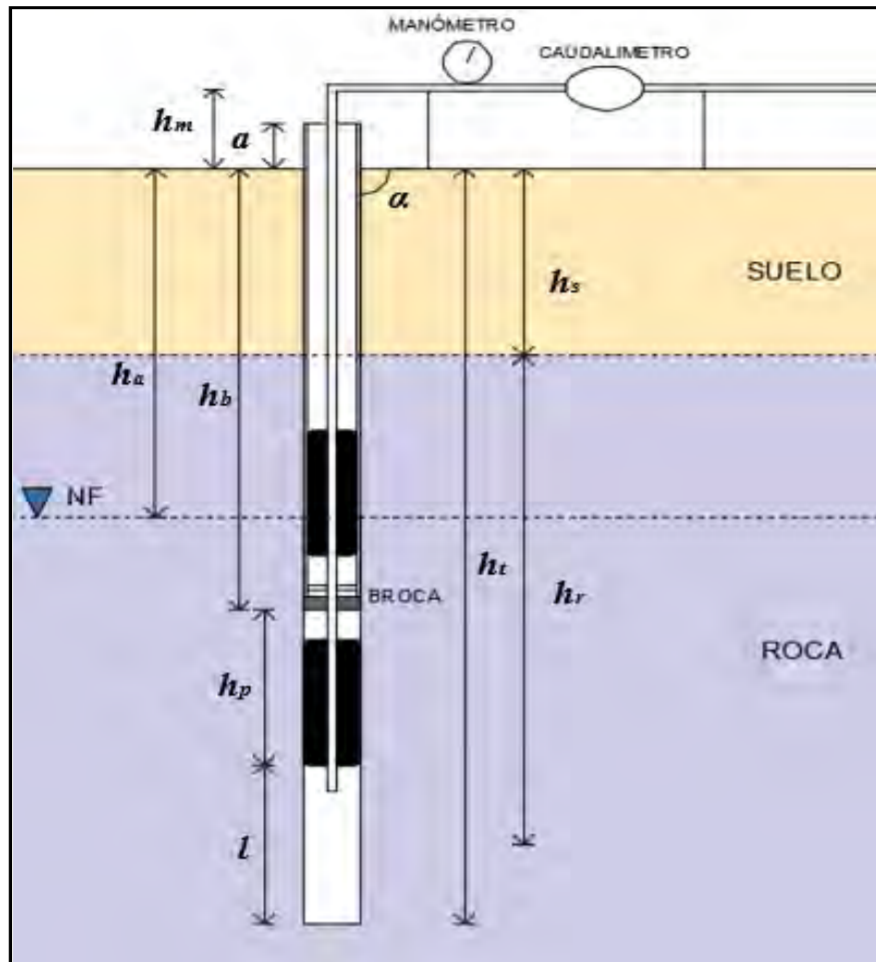
CODIGO DE PRUEBA: **DHPH02-LUGEON-04**

Proyecto: "MEJORAMIENTO Y AMPLIACIÓN DEL SERVICIO DE AGUA POTABLE Y SANEAMIENTO DE LA CIUDAD DE ESPINAR, DISTRITO DE ESPINAR, PROVINCIA DE ESPINAR – CUSCO"
Ubicación: HUAYLLUMAYO

DATOS DEL TALADRO			
Taladro:	DHPH-02	Ubicación:	P.HUAYLLUMAYO
Norte:	8349547	Inclinación:	90°
Este:	235986	Díametro:	11.10 cm.
Elevación:	4028 m.s.n.m.	NF:	30.55 m.

Nota: si no se encontro NF colocar seco

DATOS DEL ENSAYO			
Fecha:	27-may-24	hb:	33.80 m.
Hora inicio:	17:30	ht:	35.80 m.
Hora fin:	18:35	Tramo (l):	1.00 m.
hp:	1.00 m.	RQD:	90%
hm:	0.75 m.	a (m):	0.50 m.



Presión de inflado del packer = Pp

a: Altura sobresaliente de la tubería = 0.50 m
 hb: Profundidad de la broca = 33.8 m
 hp: Longitud del packer en roca = 1.0 m
 Pw: Presión de trabajo del packer = 200.0 psi
 Ph: Presión hidrostática del packer = 51.185 psi

convertir 1m = 1.45psi
 $P_p = 301.4 \text{ psi} = 20.8 \text{ Bar}$

Maxima presión admisible = Pmax

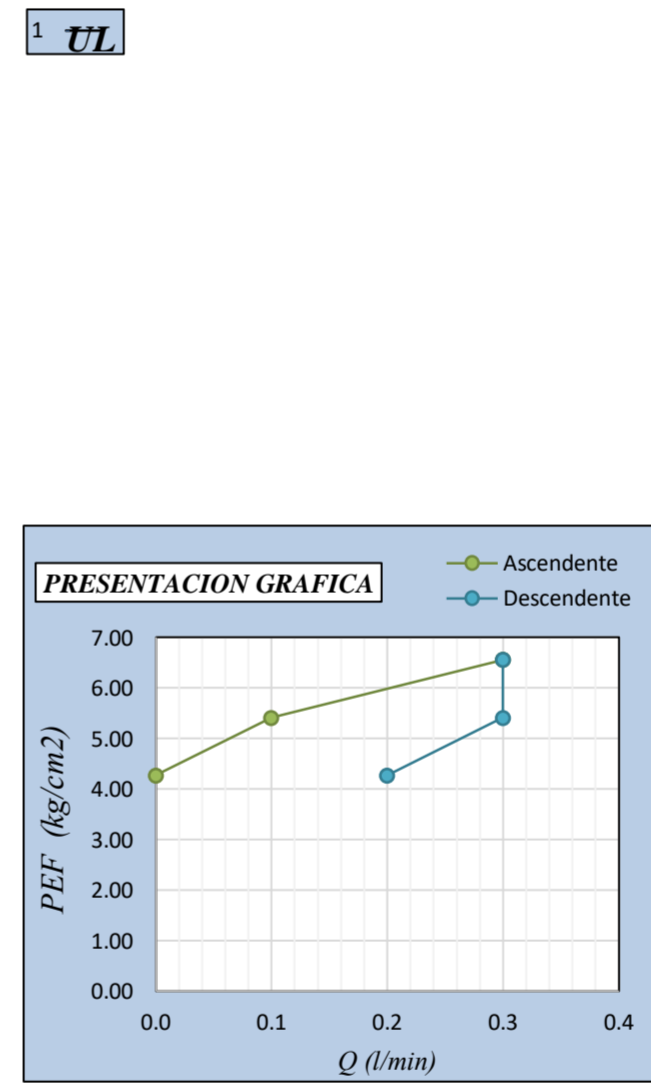
hs: Profundidad del suelo perforado = 11.00 m
 hr: Profundidad de la roca perforada = 24.30 m
 ha: Nivel freático = 30.55 m
 Δh : sobre carga hidráulica = 31.30 m
 $\Delta h = h_m + h_t - l/2$ para pozo seco
 $\Delta h = h_m + h_a$ para pozo con NF

$\sigma_t = 56109 \text{ kg/cm}^2$ $\sigma' = 51359 \text{ kg/cm}^2$ $P_{max} = 46609 \text{ kg/cm}^2$
 $U = 4750 \text{ kg/cm}^2$ $H_g = 31300 \text{ kg/cm}^2$ $P_{max} = 66.3 \text{ psi} = 4.6 \text{ Bar}$

RQD ≥ 75% $P_1 = P_5 = 0.25 * P_{mc}$ RQD < 75% $P_1 = P_5 = 0.20 * P_{mc}$ $P_1 = 16.6 \text{ psi} = 1.1 \text{ Bar}$
 $P_2 = P_4 = 0.50 * P_{max}$ $P_2 = P_4 = 0.40 * P_{mc}$ $P_2 = 33.1 \text{ psi} = 2.3 \text{ Bar}$
 $P_3 = 0.75 * P_{max}$ $P_3 = 0.60 * P_{mc}$ $P_3 = 49.7 \text{ psi} = 3.4 \text{ Bar}$

tiempo en min	P1 16.6 psi / 1.1 Bar		P2 33.1 psi / 2.3 Bar		P3 49.7 psi / 3.4 Bar		P4 33.1 psi / 2.3 Bar		P5 16.6 psi / 1.1 Bar	
	lectura de caudal	Q (l/min)	lectura de caudal	Q (l/min)	lectura de caudal	Q (l/min)	lectura de caudal	Q (l/min)	lectura de caudal	Q (l/min)
0	1505.00	0.00	1506.00	0.00	1508.00	0.00	1511.00	0.00	1514.00	0.00
1	1505.00	0.00	1506.00	0.00	1509.00	1.00	1512.00	1.00	1514.00	0.00
2	1505.00	0.00	1506.00	0.00	1509.00	0.00	1512.00	0.00	1514.00	0.00
3	1505.00	0.00	1506.00	0.00	1510.00	1.00	1512.00	0.00	1515.00	1.00
4	1505.00	0.00	1506.00	0.00	1510.00	0.00	1512.00	0.00	1515.00	0.00
5	1505.00	0.00	1507.00	1.00	1510.00	0.00	1512.00	0.00	1515.00	0.00
6	1505.00	0.00	1507.00	0.00	1510.00	0.00	1513.00	1.00	1515.00	0.00
7	1505.00	0.00	1507.00	0.00	1511.00	1.00	1513.00	0.00	1515.00	0.00
8	1505.00	0.00	1507.00	0.00	1511.00	0.00	1513.00	0.00	1515.00	0.00
9	1505.00	0.00	1507.00	0.00	1511.00	0.00	1513.00	0.00	1515.00	0.00
10	1505.00	0.00	1507.00	0.00	1511.00	0.00	1514.00	1.00	1516.00	1.00
11										
12										
13										
14										
15										

qt (l/min)	0.00	1.00	3.00	3.00	2.00
q (l/min)	0.00	0.10	0.30	0.30	0.20
Q (l/min/m)	0.00	0.10	0.30	0.30	0.20
Δp (kg/cm²)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
CH (Δh/10)	3.13	3.13	3.13	3.13	3.13
PEF (kg/cm²)	4.27	5.42	6.56	5.42	4.27
UL (PEF/Q)	0.00	0.18	0.46	0.55	0.47



Notas importantes:

- presión máxima permisible no debe superar 3.28psi/m
- No se tomo en cuenta la presión de poros
- Se recomienda que el tramo de ensayo no debe de ser mayor de 5metros
- Cuando el taladro esta inclinado se debe de corregir las alturas según: Hsen(α)
- El incremento de la presión depende del RQD
- La prueba se desarrolla para rocas con RQD > 60%
- Esperar a que el caudal alcance un equilibrio constante antes de tomar lecturas
- Calibrara el caudalímetro antes de usar
- Cuando el taladro esta saturado desde el inicio ha = 0.0m.

$PEF = (PM - \Delta p) + CH$

clasificación del valor de Lugeon representativo (Houlsby 1976)

0 - 1 UL	Muy Favorable
1 - 3 UL	Favorable
3 - 10 UL	Desfavorable
> 10 UL	Muy Desfavorable

Shimizu (1985)

Tipo de Flujo:	Erosión
Unidad de Lugeon:	0.6 UL
Permeabilidad:	1.33E-05 cm/s
Condición:	Muy Favorable

NOTA:

V°B° CONTRATISTA

Nombre:

V°B° COMPAÑIA

Nombre:

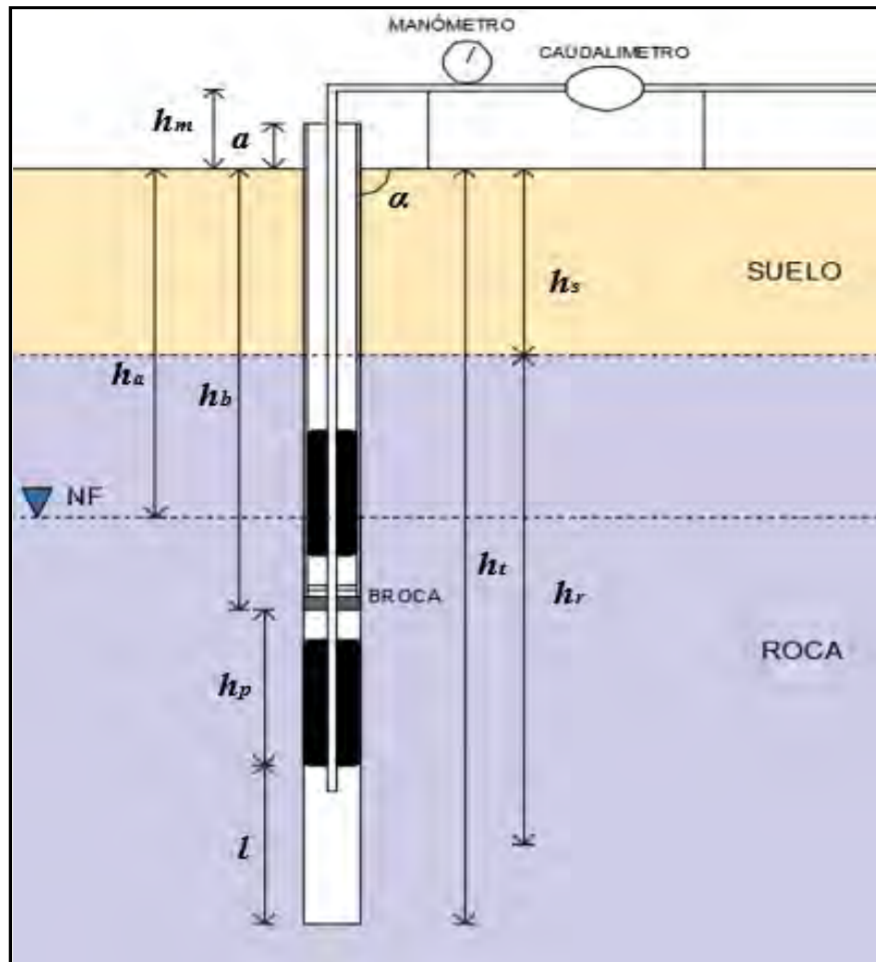
ENSAYO DE PERMEABILIDAD TIPO LUGEON
CODIGO DE PRUEBA: DHPH02-LUGEON-05

Proyecto:	"MEJORAMIENTO Y AMPLIACIÓN DEL SERVICIO DE AGUA POTABLE Y SANEAMIENTO DE LA CIUDAD DE ESPINAR, DISTRITO DE ESPINAR, PROVINCIA DE ESPINAR – CUSCO"
Ubicación:	HUAYLLUMAYO

DATOS DEL TALADRO			
Taladro:	DHPH-02	Ubicación:	P.HUAYLLUMAYO
Norte:	8349547	Inclinación:	90°
Este:	235986	Díametro :	11.10 cm.
Elevación:	4028 m.s.n.m.	NF:	39.65 m.

Nota: si no se encontro NF colocar seco

DATOS DEL ENSAYO			
Fecha:	27-may-24	hb:	38.20 m.
Hora inicio:	11:05	ht:	40.20 m.
Hora fin:	12:00	Tramo (l):	1.00 m.
hp :	1.00 m.	RQD:	100%
hm :	0.50 m.	a (m):	0.65 m.
		H suelo:	11.00 m.
		γsuelo:	1500 kg/cm3
		H roca:	28.70 m.
		γroca:	1630 kg/cm3
		γagua:	1000 kg/cm3



Presion de inflado del packer = Pp

a: Altura sobresaliente de la tubería = 0.65 m
hb: Profundidad de la broca = 38.2 m
hp: Longitud del packer en roca = 1.0 m
Pw: Presion de trabajo del packer = 200.0 psi
Ph: Presion hidrostática del packer = 57.783 psi

convertir 1m = 1.45psi
Pp = 309.3 psi = 21.3 Bar

Maxima presion admisible = Pmax

hs: Profundidad del suelo perforado = 11.00 m
hr: Profundidad de la roca perforada = 28.70 m
ha: Nivel freático = 39.65 m
Δh: sobre carga hidráulica = 40.15 m
Δh = hm+ht-l/2 para pozo seco
Δh = hm+ha para pozo con NF

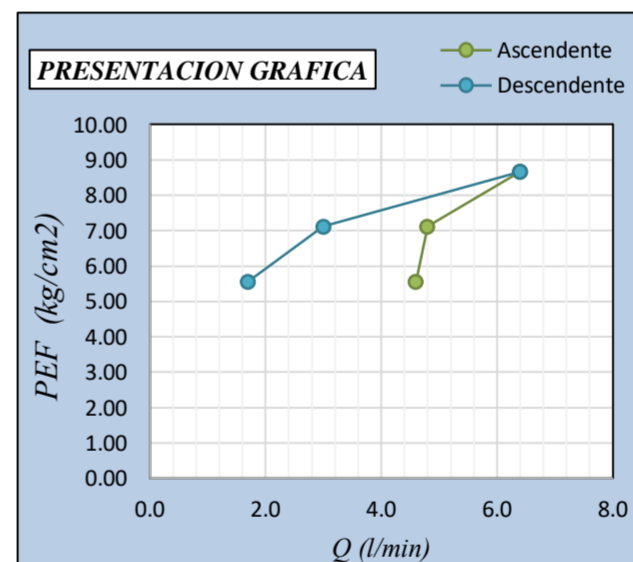
σt = 63281 kg/cm2 σ' = 63231 kg/cm2 Pmax = 63181 kg/cm2
U = 50 kg/cm2 Hg = 40150 kg/cm2 **Pmax = 89.9 psi = 6.2 Bar**

RQD ≥ 75% P1=P5 = 0.25*Pmc RQD < 75% P1=P5 = 0.20*Pmc **P1 = 22.5 psi = 1.5 Bar**
P2=P4 = 0.50*Pmax P2=P4 = 0.40*Pmc **P2 = 44.9 psi = 3.1 Bar**
P3 = 0.75*Pmax P3 = 0.60*Pmc **P3 = 67.4 psi = 4.6 Bar**

tiempo en min	P1 22.5 psi / 1.5 Bar		P2 44.9 psi / 3.1 Bar		P3 67.4 psi / 4.6 Bar		P4 44.9 psi / 3.1 Bar		P5 22.5 psi / 1.5 Bar	
	lectura de caudal	Q (l/min)	lectura de caudal	Q (l/min)	lectura de caudal	Q (l/min)	lectura de caudal	Q (l/min)	lectura de caudal	Q (l/min)
0	1825.00		1885.00		1996.00		2062.00		2094.00	
1	1831.00	6.00	1892.00	7.00	2004.00	8.00	2065.00	3.00	2096.00	2.00
2	1836.00	5.00	1898.00	6.00	2011.00	7.00	2068.00	3.00	2098.00	2.00
3	1841.00	5.00	1903.00	5.00	2018.00	7.00	2071.00	3.00	2099.00	1.00
4	1847.00	6.00	1908.00	5.00	2024.00	6.00	2074.00	3.00	2101.00	2.00
5	1851.00	4.00	1912.00	4.00	2030.00	6.00	2077.00	3.00	2103.00	2.00
6	1855.00	4.00	1917.00	5.00	2036.00	6.00	2080.00	3.00	2104.00	1.00
7	1859.00	4.00	1921.00	4.00	2042.00	6.00	2083.00	3.00	2106.00	2.00
8	1863.00	4.00	1925.00	4.00	2048.00	6.00	2086.00	3.00	2108.00	2.00
9	1867.00	4.00	1929.00	4.00	2054.00	6.00	2089.00	3.00	2109.00	1.00
10	1871.00	4.00	1933.00	4.00	2060.00	6.00	2092.00	3.00	2111.00	2.00
11										
12										
13										
14										
15										

qt (l/min)	46.00	48.00	64.00	30.00	17.00
q (l/min)	4.60	4.80	6.40	3.00	1.70
Q (l/min/m)	4.60	4.80	6.40	3.00	1.70
Δp (kg/cm2)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
CH (Δh/10)	4.02	4.02	4.02	4.02	4.02
PEF (kg/cm2)	5.56	7.11	8.66	7.11	5.56
UL (PEF/Q)	8.27	6.75	7.39	4.22	3.06

1 UL



Notas importantes:

- presión máxima permisible no debe superar 3.28psi/m
- No se tomo en cuenta la presion de poros
- Se recomienda que el tramo de ensayo no debe de ser mayor de 5metros
- Cuando el taladro esta inclinado se debe de correguir las alturas según: Hsen(α)
- El incremento de la presion depende del RQD
- La prueba se desarrolla para rocas con RQD > 60%
- Esperar a que el caudal alcance un equilibrio constante antes de tomar lecturas
- Calibrara el caudalímetro antes de usar
- Cuando el taladro esta saturado desde el inicio ha = 0.0m.

$PEF = (PM - \Delta p) + CH$

clasificación del valor de Lugeon representativo (Houlsby 1976)

0 - 1 UL	Muy Favorable
1 - 3 UL	Favorable
3 - 10 UL	Desfavorable
> 10 UL	Muy Desfavorable

Shimizu (1985)

Tipo de Flujo:	Relleno
Unidad de Lugeon:	3.1 UL
Permeabilidad:	7.36E-05 cm/s
Condición:	Desfavorable

<p>NOTA:</p>	<p>_____ V°B° CONTRATISTA Nombre:</p>	<p>_____ V°B° COMPAÑIA Nombre:</p>
--------------	---	--

ENSAYO DE PERMEABILIDAD TIPO LUGEON

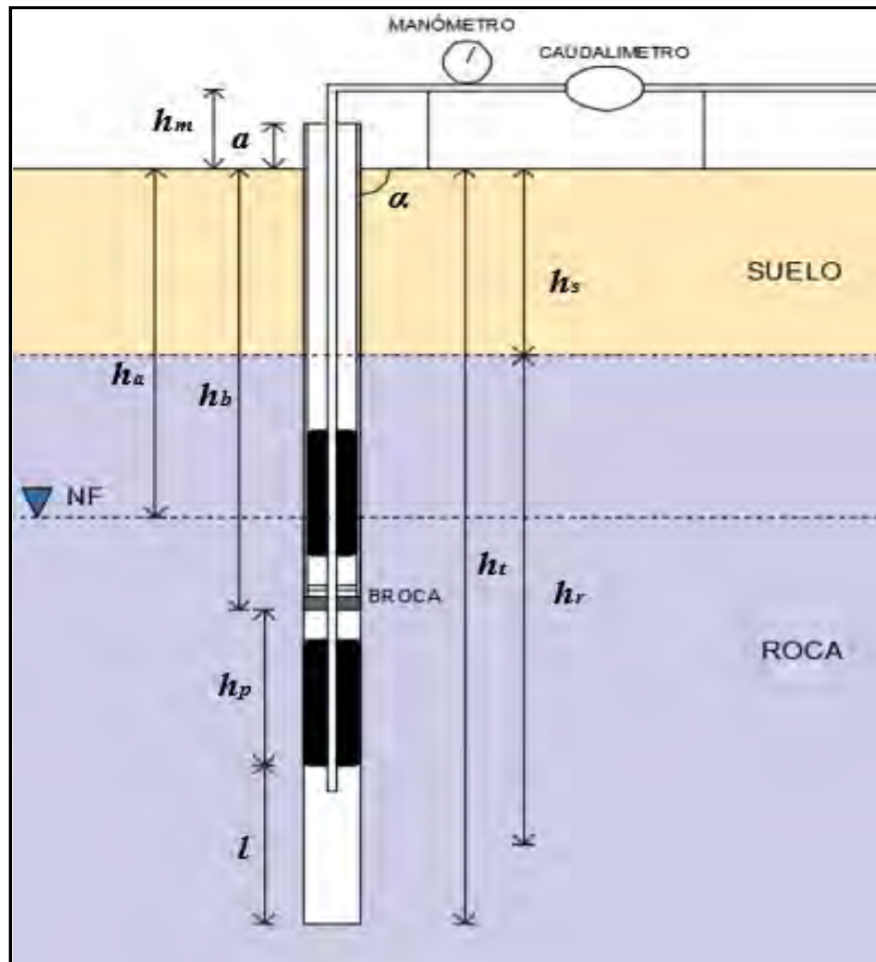
CODIGO DE PRUEBA: DHPH02-LUGEON-06

Proyecto: "MEJORAMIENTO Y AMPLIACIÓN DEL SERVICIO DE AGUA POTABLE Y SANEAMIENTO DE LA CIUDAD DE ESPINAR, DISTRITO DE ESPINAR, PROVINCIA DE ESPINAR – CUSCO"
Ubicación: HUAYLLUMAYO

DATOS DEL TALADRO			
Taladro:	DHPH-02	Ubicación:	P.HUAYLLUMAYO
Norte:	8349547	Inclinación:	90°
Este:	235986	Díametro:	11.10 cm.
Elevación:	4028 m.s.n.m.	NF:	45.55 m.

Nota: si no se encontro NF colocar seco

DATOS DEL ENSAYO			
Fecha:	27-may-24	hb:	44.00 m.
Hora inicio:	14:10	ht:	46.20 m.
Hora fin:	15:15	Tramo (l):	1.20 m.
hp:	1.00 m.	RQD:	100%
hm:	0.50 m.	a (m):	0.65 m.
		H suelo:	11.00 m.
		γsuelo:	1500 kg/cm3
		H roca:	34.60 m.
		γroca:	1630 kg/cm3
		γagua:	1000 kg/cm3



Presión de inflado del packer = Pp

a: Altura sobresaliente de la tubería = 0.65 m
hb: Profundidad de la broca = 44.0 m
hp: Longitud del packer en roca = 1.0 m
Pw: Presión de trabajo del packer = 200.0 psi
Ph: Presión hidrostática del packer = 66.193 psi
convertir 1m = 1.45psi
Pp = 319.4 psi = 22.0 Bar

Maxima presión admisible = Pmax

hs: Profundidad del suelo perforado = 11.00 m
hr: Profundidad de la roca perforada = 34.60 m
ha: Nivel freático = 45.55 m
Δh: sobre carga hidráulica = 46.05 m
Δh = hm+ht-l/2 para pozo seco
Δh = hm+ha para pozo con NF

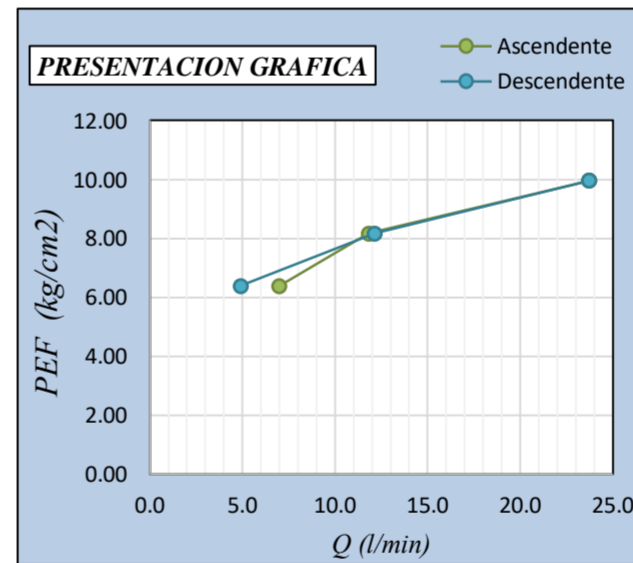
σt = 72898 kg/cm2 σ' = 72848 kg/cm2 Pmax = 72798 kg/cm2
U = 50 kg/cm2 Hg = 46050 kg/cm2 Pmax = 103.5 psi = 7.1 Bar

RQD ≥ 75% P1=P5 = 0.25*Pmc RQD < 75% P1=P5 = 0.20*Pmc P1 = 25.9 psi = 1.8 Bar
P2=P4 = 0.50*Pmax P2=P4 = 0.40*Pmc P2 = 51.8 psi = 3.6 Bar
P3 = 0.75*Pmax P3 = 0.60*Pmc P3 = 77.7 psi = 5.4 Bar

tiempo en min	P1 25.9 psi / 1.8 Bar		P2 51.8 psi / 3.6 Bar		P3 77.7 psi / 5.4 Bar		P4 51.8 psi / 3.6 Bar		P5 25.9 psi / 1.8 Bar	
	lectura de caudal	Q (l/min)	lectura de caudal	Q (l/min)	lectura de caudal	Q (l/min)	lectura de caudal	Q (l/min)	lectura de caudal	Q (l/min)
0	1970.00		2060.00		2250.00		2539.00		2691.00	
1	1979.00	9.00	2074.00	14.00	2279.00	29.00	2555.00	16.00	2698.00	7.00
2	1987.00	8.00	2089.00	15.00	2308.00	29.00	2572.00	17.00	2704.00	6.00
3	1996.00	9.00	2103.00	14.00	2337.00	29.00	2587.00	15.00	2709.00	5.00
4	2005.00	9.00	2117.00	14.00	2365.00	28.00	2601.00	14.00	2715.00	6.00
5	2013.00	8.00	2132.00	15.00	2393.00	28.00	2615.00	14.00	2721.00	6.00
6	2021.00	8.00	2146.00	14.00	2421.00	28.00	2629.00	14.00	2726.00	5.00
7	2029.00	8.00	2160.00	14.00	2449.00	28.00	2643.00	14.00	2732.00	6.00
8	2038.00	9.00	2174.00	14.00	2478.00	29.00	2657.00	14.00	2738.00	6.00
9	2046.00	8.00	2188.00	14.00	2507.00	29.00	2671.00	14.00	2744.00	6.00
10	2054.00	8.00	2202.00	14.00	2535.00	28.00	2685.00	14.00	2750.00	6.00
11										
12										
13										
14										
15										

qt (l/min)	84.00	142.00	285.00	146.00	59.00
q (l/min)	8.40	14.20	28.50	14.60	5.90
Q (l/min/m)	7.00	11.83	23.75	12.17	4.92
Δp (kg/cm2)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
CH (Δh/10)	4.61	4.61	4.61	4.61	4.61
PEF (kg/cm2)	6.39	8.18	9.96	8.18	6.39
UL (PEF/Q)	10.95	14.47	23.84	14.88	7.69

1 UL



Notas importantes:

- presión máxima permisible no debe superar 3.28psi/m
- No se toma en cuenta la presión de poros
- Se recomienda que el tramo de ensayo no debe de ser mayor de 5 metros
- Cuando el taladro está inclinado se debe de corregir las alturas según: Hsen(α)
- El incremento de la presión depende del RQD
- La prueba se desarrolla para rocas con RQD > 60%
- Esperar a que el caudal alcance un equilibrio constante antes de tomar lecturas
- Calibrar el caudalímetro antes de usar
- Cuando el taladro está saturado desde el inicio ha = 0.0m.

PEF = (PM - Δp) + CH

clasificación del valor de Lugeon representativo (Houlsby 1976)

0 - 1 UL	Muy Favorable
1 - 3 UL	Favorable
3 - 10 UL	Desfavorable
> 10 UL	Muy Desfavorable

Shimizu (1985)

Tipo de Flujo:	Dilatación
Unidad de Lugeon:	7.7 UL
Permeabilidad:	1.97E-04 cm/s
Condición:	Desfavorable

NOTA:

VºBº CONTRATISTA

Nombre: _____

VºBº COMPAÑIA

Nombre: _____

ENSAYO DE PERMEABILIDAD TIPO LUGEON

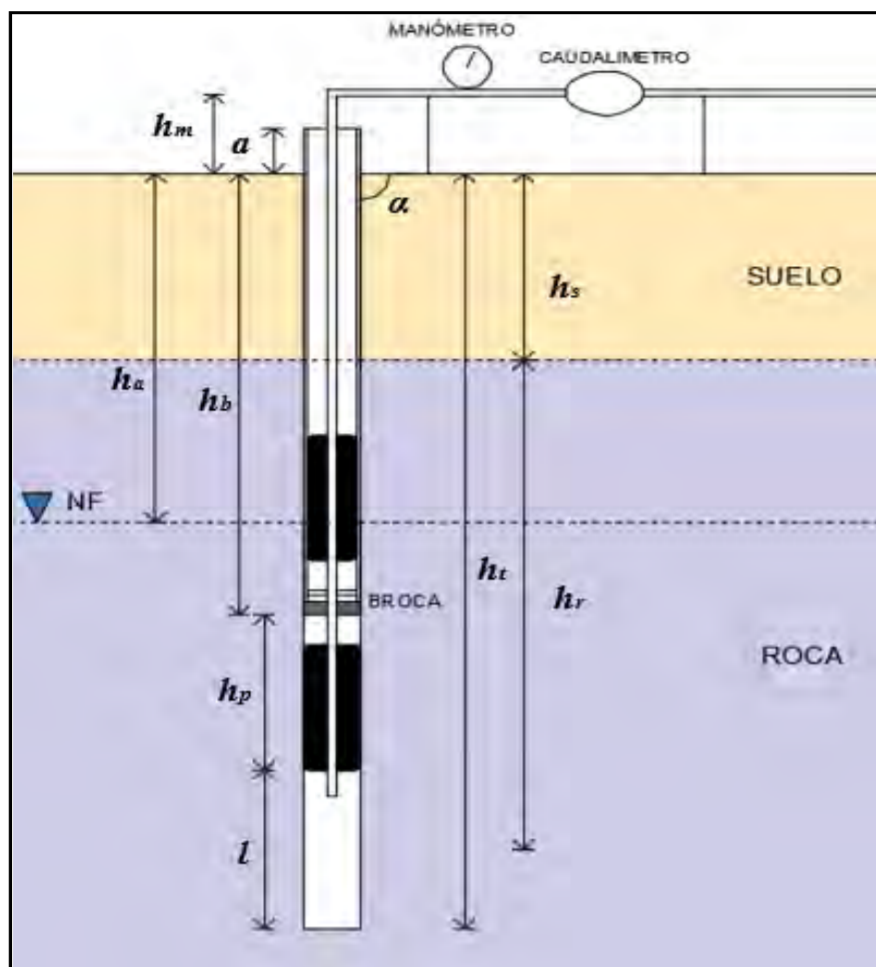
CODIGO DE PRUEBA: **DHPH03-LUGEON 01**

Proyecto: "MEJORAMIENTO Y AMPLIACIÓN DEL SERVICIO DE AGUA POTABLE Y SANEAMIENTO DE LA CIUDAD DE ESPINAR, DISTRITO DE ESPINAR, PROVINCIA DE ESPINAR – CUSCO"
Ubicación: HUAYLLUMAYO

DATOS DEL TALADRO			
Taladro:	DHPH-03	Ubicación:	P.HUAYLLUMAYO
Norte:	8349576	Inclinación:	90°
Este:	236005	Díametro:	11.10 cm.
Elevación:	4028 m.s.n.m.	NF:	16.90 m.

Nota: si no se encontro NF colocar seco

DATOS DEL ENSAYO			
Fecha:	31-may-24	hb:	13.90 m.
Hora inicio:	15:45	ht:	16.10 m.
Hora fin:	16:30	Tramo (l):	1.20 m.
hp:	1.00 m.	RQD:	80%
hm:	0.84 m.	a (m):	0.64 m.



Presión de inflado del packer = Pp

a: Altura sobresaliente de la tubería = 0.64 m
 hb: Profundidad de la broca = 13.9 m
 hp: Longitud del packer en roca = 1.0 m
 Pw: Presión de trabajo del packer = 200.0 psi
 Ph: Presión hidrostática del packer = 22.533 psi

convertir 1m = 1.45psi
 $P_p = 267.0 \text{ psi} = 18.4 \text{ Bar}$

Maxima presión admisible = Pmax

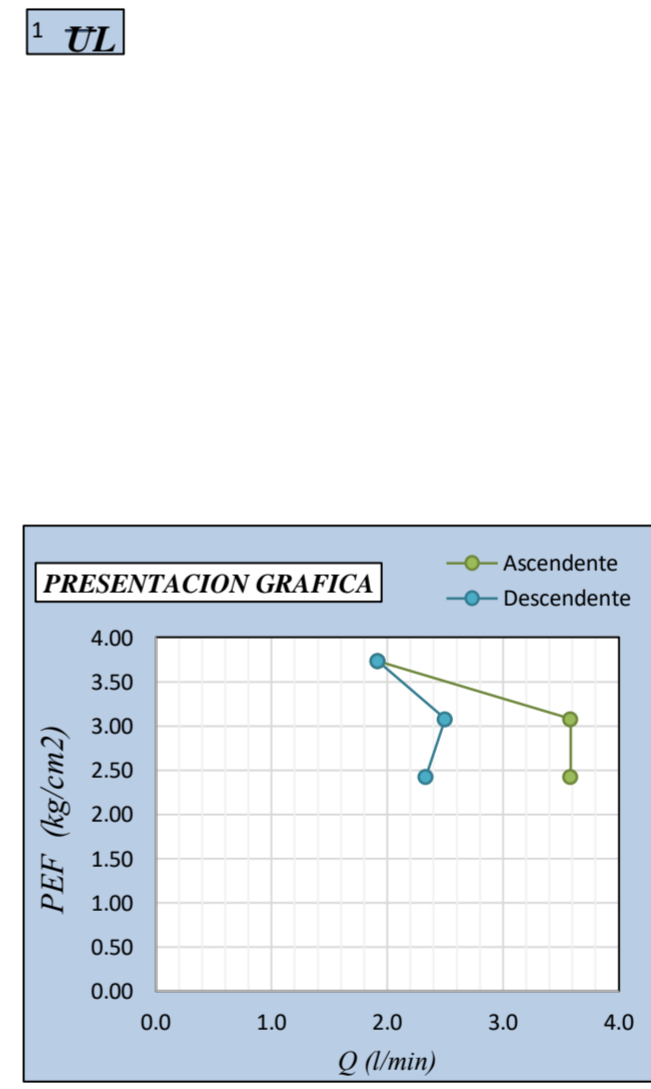
hs: Profundidad del suelo perforado = 11.00 m
 hr: Profundidad de la roca perforada = 4.50 m
 ha: Nivel freático = 16.90 m
 Δh : sobre carga hidráulica = 17.74 m
 $\Delta h = h_m + h_t - l/2$ para pozo seco
 $\Delta h = h_m + h_a$ para pozo con NF

$\sigma_t = 23835 \text{ kg/cm}^2$ $\sigma' = 25235 \text{ kg/cm}^2$ $P_{max} = 26635 \text{ kg/cm}^2$
 $U = -1400 \text{ kg/cm}^2$ $H_g = 17740 \text{ kg/cm}^2$ $P_{max} = 37.9 \text{ psi} = 2.6 \text{ Bar}$

RQD ≥ 75% $P_1 = P_5 = 0.25 * P_{mc}$ RQD < 75% $P_1 = P_5 = 0.20 * P_{mc}$ $P_1 = 9.5 \text{ psi} = 0.7 \text{ Bar}$
 $P_2 = P_4 = 0.50 * P_{max}$ $P_2 = P_4 = 0.40 * P_{mc}$ $P_2 = 18.9 \text{ psi} = 1.3 \text{ Bar}$
 $P_3 = 0.75 * P_{max}$ $P_3 = 0.60 * P_{max}$ $P_3 = 28.4 \text{ psi} = 2.0 \text{ Bar}$

tiempo en min	P1 9.5 psi / 0.7 Bar		P2 18.9 psi / 1.3 Bar		P3 28.4 psi / 2.0 Bar		P4 18.9 psi / 1.3 Bar		P5 9.5 psi / 0.7 Bar	
	lectura de caudal	Q (l/min)	lectura de caudal	Q (l/min)	lectura de caudal	Q (l/min)	lectura de caudal	Q (l/min)	lectura de caudal	Q (l/min)
0	4120.00		4171.00		4222.00		4247.00		4280.00	
1	4121.00	1.00	4175.00	4.00	4224.00	2.00	4250.00	3.00	4283.00	3.00
2	4128.00	7.00	4180.00	5.00	4226.00	2.00	4253.00	3.00	4286.00	3.00
3	4133.00	5.00	4184.00	4.00	4229.00	3.00	4256.00	3.00	4288.00	2.00
4	4137.00	4.00	4189.00	5.00	4232.00	3.00	4259.00	3.00	4291.00	3.00
5	4141.00	4.00	4193.00	4.00	4234.00	2.00	4262.00	3.00	4294.00	3.00
6	4145.00	4.00	4197.00	4.00	4236.00	2.00	4265.00	3.00	4297.00	3.00
7	4149.00	4.00	4202.00	5.00	4238.00	2.00	4268.00	3.00	4300.00	3.00
8	4153.00	4.00	4206.00	4.00	4241.00	3.00	4271.00	3.00	4302.00	2.00
9	4158.00	5.00	4210.00	4.00	4243.00	2.00	4274.00	3.00	4305.00	3.00
10	4163.00	5.00	4214.00	4.00	4245.00	2.00	4277.00	3.00	4308.00	3.00
11										
12										
13										
14										
15										

qt (l/min)	43.00	43.00	23.00	30.00	28.00
q (l/min)	4.30	4.30	2.30	3.00	2.80
Q (l/min/m)	3.58	3.58	1.92	2.50	2.33
Δp (kg/cm²)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
CH (Δh/10)	1.77	1.77	1.77	1.77	1.77
PEF (kg/cm²)	2.43	3.08	3.73	3.08	2.43
UL (PEF/Q)	14.76	11.63	5.13	8.12	9.61



Notas importantes:

- presión máxima permisible no debe superar 3.28psi/m
- No se toma en cuenta la presión de poros
- Se recomienda que el tramo de ensayo no debe de ser mayor de 5metros
- Cuando el taladro esta inclinado se debe de corregir las alturas según: Hsen(α)
- El incremento de la presión depende del RQD
- La prueba se desarrolla para rocas con RQD > 60%
- Esperar a que el caudal alcance un equilibrio constante antes de tomar lecturas
- Calibrar el caudalímetro antes de usar
- Cuando el taladro esta saturado desde el inicio ha = 0.0m.

$PEF = (PM - \Delta p) + CH$

clasificación del valor de Lugeon representativo (Houlsby 1976)

0 - 1 UL	Muy Favorable
1 - 3 UL	Favorable
3 - 10 UL	Desfavorable
> 10 UL	Muy Desfavorable

Shimizu (1985)

Tipo de Flujo:	Relleno
Unidad de Lugeon:	5.1 UL
Permeabilidad:	1.31E-04 cm/s
Condición:	Desfavorable

NOTA:

V°B° CONTRATISTA

Nombre:

V°B° COMPAÑIA

Nombre:

ENSAYO DE PERMEABILIDAD TIPO LUGEON

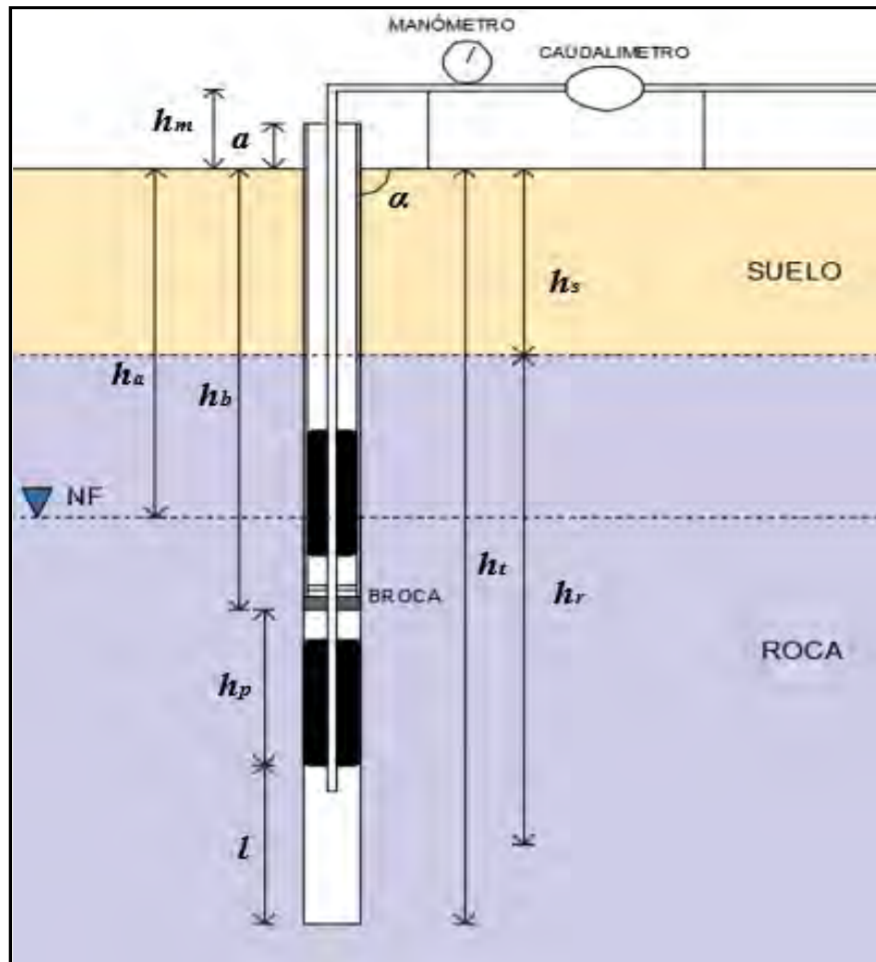
CODIGO DE PRUEBA: **DHPH03-LUGEON 02**

Proyecto: "MEJORAMIENTO Y AMPLIACIÓN DEL SERVICIO DE AGUA POTABLE Y SANEAMIENTO DE LA CIUDAD DE ESPINAR, DISTRITO DE ESPINAR, PROVINCIA DE ESPINAR – CUSCO"
Ubicación: HUAYLLUMAYO

DATOS DEL TALADRO			
Taladro:	DHPH-03	Ubicación:	P.HUAYLLUMAYO
Norte:	8349576	Inclinación:	90°
Este:	236005	Diametro :	11.10 cm.
Elevación:	4028 m.s.n.m.	NF :	21.90 m.

Nota: si no se encontro NF colocar seco

DATOS DEL ENSAYO			
Fecha:	31-may-24	hb:	19.90 m.
Hora inicio:	18:05	ht:	22.10 m.
Hora fin:	19:00	Tramo (l):	1.20 m.
hp :	1.00 m.	RQD:	90%
hm :	0.84 m.	a (m):	0.65 m.



Presion de inflado del packer = Pp

a: Altura sobresaliente de la tubería = 0.65 m
 hb: Profundidad de la broca = 19.9 m
 hp: Longitud del packer en roca = 1.0 m
 Pw: Presion de trabajo del packer = 200.0 psi
 Ph: Presion hidrostática del packer = 31.248 psi

convertir 1m = 1.45psi
 $P_p = 277.5 \text{ psi} = 19.1 \text{ Bar}$

Maxima presion admisible = Pmax

hs: Profundidad del suelo perforado = 11.00 m
 hr: Profundidad de la roca perforada = 10.50 m
 ha: Nivel freático = 21.90 m
 Δh : sobre carga hidráulica = 22.74 m
 $\Delta h = h_m + h_t - l/2$ para pozo seco
 $\Delta h = h_m + h_a$ para pozo con NF

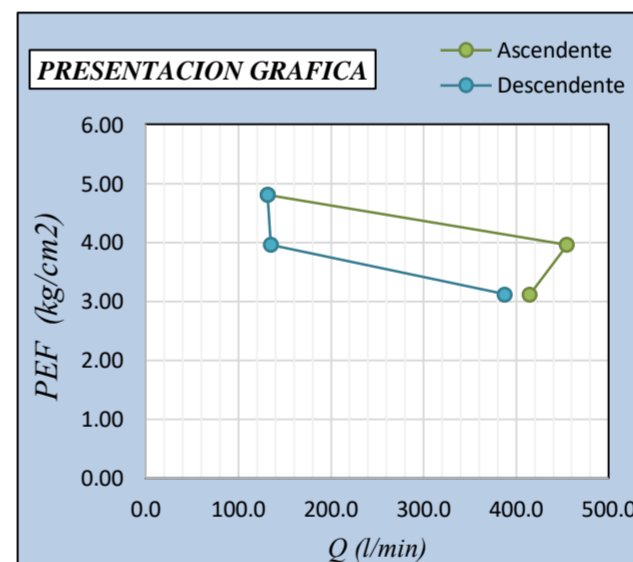
$\sigma_t = 33615 \text{ kg/cm}^2$ $\sigma' = 34015 \text{ kg/cm}^2$ $P_{max} = 34415 \text{ kg/cm}^2$
 $U = -400 \text{ kg/cm}^2$ $H_g = 22740 \text{ kg/cm}^2$ $P_{max} = 48.9 \text{ psi} = 3.4 \text{ Bar}$

RQD ≥ 75% $P_1 = P_5 = 0.25 * P_{mc}$ RQD < 75% $P_1 = P_5 = 0.20 * P_{mc}$ $P_1 = 12.2 \text{ psi} = 0.8 \text{ Bar}$
 $P_2 = P_4 = 0.50 * P_{max}$ $P_2 = P_4 = 0.40 * P_{mc}$ $P_2 = 24.5 \text{ psi} = 1.7 \text{ Bar}$
 $P_3 = 0.75 * P_{max}$ $P_3 = 0.60 * P_{mc}$ $P_3 = 36.7 \text{ psi} = 2.5 \text{ Bar}$

tiempo en min	P1 12.2 psi / 0.8 Bar		P2 24.5 psi / 1.7 Bar		P3 36.7 psi / 2.5 Bar		P4 24.5 psi / 1.7 Bar		P5 12.2 psi / 0.8 Bar	
	lectura de caudal	Q (l/min)	lectura de caudal	Q (l/min)	lectura de caudal	Q (l/min)	lectura de caudal	Q (l/min)	lectura de caudal	Q (l/min)
0	1600.00		8200.00		4100.00		6300.00		9085.00	
1	2034.00	434.00	8847.00	647.00	4267.00	167.00	6462.00	162.00	9554.00	469.00
2	2475.00	441.00	9498.00	651.00	4437.00	170.00	6625.00	163.00	10020.00	466.00
3	3374.00	899.00	10143.00	645.00	4595.00	158.00	6790.00	165.00	10485.00	465.00
4	3874.00	500.00	10790.00	647.00	4750.00	155.00	6950.00	160.00	10948.00	463.00
5	4274.00	400.00	11150.00	360.00	4908.00	158.00	7111.00	161.00	11414.00	466.00
6	4740.00	466.00	12100.00	950.00	5065.00	157.00	7274.00	163.00	11880.00	466.00
7	5100.00	360.00	12759.00	659.00	5222.00	157.00	7436.00	162.00	12345.00	465.00
8	5667.00	567.00	13285.00	526.00	5374.00	152.00	7599.00	163.00	12810.00	465.00
9	6120.00	453.00	13383.00	98.00	5530.00	156.00	7762.00	163.00	13276.00	466.00
10	6580.00	460.00	13662.00	279.00	5680.00	150.00	7924.00	162.00	13741.00	465.00
11										
12										
13										
14										
15										

qt (l/min)	4980.00	5462.00	1580.00	1624.00	4656.00
q (l/min)	498.00	546.20	158.00	162.40	465.60
Q (l/min/m)	415.00	455.17	131.67	135.33	388.00
Δp (kg/cm²)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
CH (Δh/l)	2.27	2.27	2.27	2.27	2.27
PEF (kg/cm²)	3.12	3.96	4.81	3.96	3.12
UL (PEF/Q)	1331.00	1148.85	273.97	341.59	1244.40

1 UL



Notas importantes:

- presión máxima permisible no debe superar 3.28psi/m
- No se tomo en cuenta la presion de poros
- Se recomienda que el tramo de ensayo no debe de ser mayor de 5metros
- Cuando el taladro esta inclinado se debe de correguir las alturas según: Hsen(α)
- El incremento de la presion depende del RQD
- La prueba se desarrolla para rocas con RQD > 60%
- Esperar a que el caudal alcance un equilibrio constante antes de tomar lecturas
- Calibrara el caudalímetro antes de usar
- Cuando el taladro esta saturado desde el inicio ha = 0.0m.

$PEF = (PM - \Delta p) + CH$

clasificacion del valor de Lugeon representativo (Houlsby 1976)

0 - 1 UL Muy Favorable
 1 - 3 UL Favorable
 3 - 10 UL Desfavorable
 > 10 UL Muy Desfavorable

Shimizu (1985)

Tipo de Flujo:	Turbulento
Unidad de Lugeon:	274.0 UL
Permeabilidad:	7.02E-03 cm/s
Condición:	Muy Desfavorable

NOTA:

V°B° CONTRATISTA
Nombre:

V°B° COMPAÑIA
Nombre:

ENSAYO DE PERMEABILIDAD TIPO LUGEON

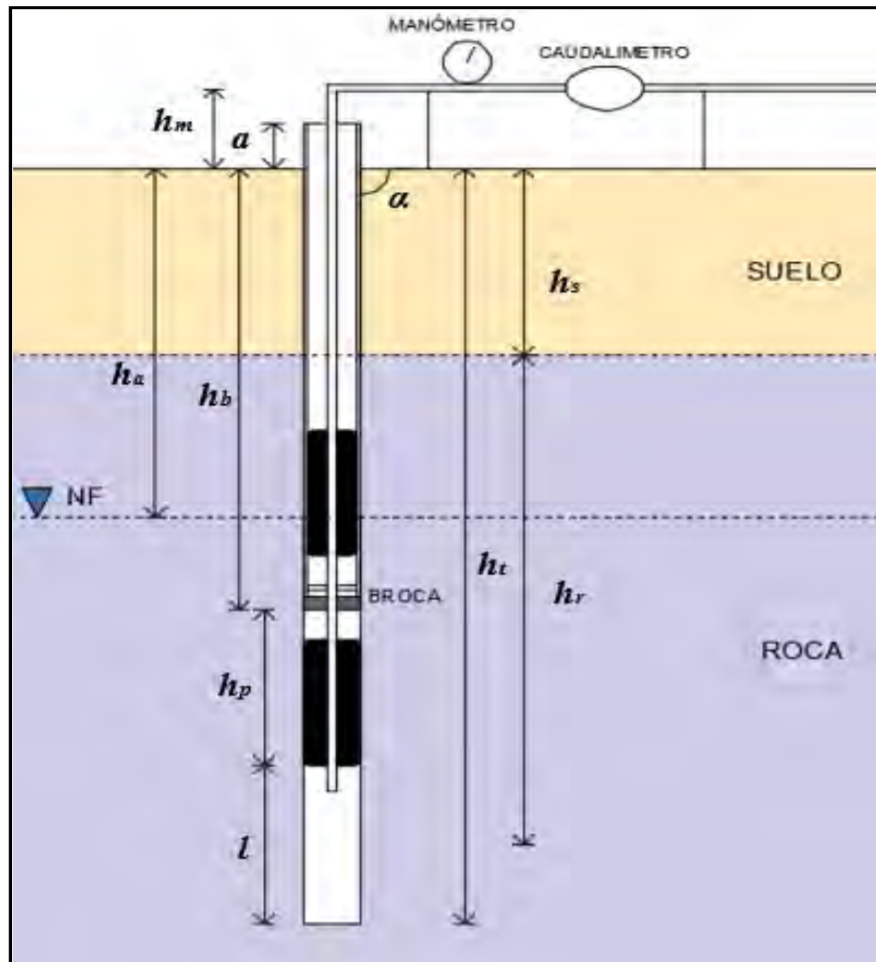
CODIGO DE PRUEBA: **DHPH03-LUGEON 03**

Proyecto: "MEJORAMIENTO Y AMPLIACIÓN DEL SERVICIO DE AGUA POTABLE Y SANEAMIENTO DE LA CIUDAD DE ESPINAR, DISTRITO DE ESPINAR, PROVINCIA DE ESPINAR – CUSCO"
Ubicación: HUAYLLUMAYO

DATOS DEL TALADRO			
Taladro:	DHPH-03	Ubicación:	P.HUAYLLUMAYO
Norte:	8349576	Inclinación:	90°
Este:	236005	Díametro:	11.10 cm.
Elevación:	4028 m.s.n.m.	NF:	25.50 m.

Nota: si no se encontro NF colocar seco

DATOS DEL ENSAYO					
Fecha:	01-jun-24	hb:	24.50 m.	H suelo:	11.00 m.
Hora inicio:	08:15	ht:	26.70 m.	γsuelo:	1500 kg/cm3
Hora fin:	09:10	Tramo (l):	1.20 m.	H roca:	15.10 m.
hp:	1.00 m.	RQD:	90%	γroca:	1630 kg/cm3
hm:	0.84 m.	a (m):	0.65 m.	γagua:	1000 kg/cm3



Presión de inflado del packer = Pp

a: Altura sobresaliente de la tubería = 0.65 m
 hb: Profundidad de la broca = 24.5 m
 hp: Longitud del packer en roca = 1.0 m
 Pw: Presión de trabajo del packer = 200.0 psi
 Ph: Presión hidrostática del packer = 37.918 psi

convertir 1m = 1.45psi
 $P_p = 285.5 \text{ psi} = 19.7 \text{ Bar}$

Maxima presión admisible = Pmax

hs: Profundidad del suelo perforado = 11.00 m
 hr: Profundidad de la roca perforada = 15.10 m
 ha: Nivel freático = 25.50 m
 Δh: sobre carga hidráulica = 26.34 m
 Δh = hm+ht-l/2 para pozo seco
 Δh = hm+ha para pozo con NF

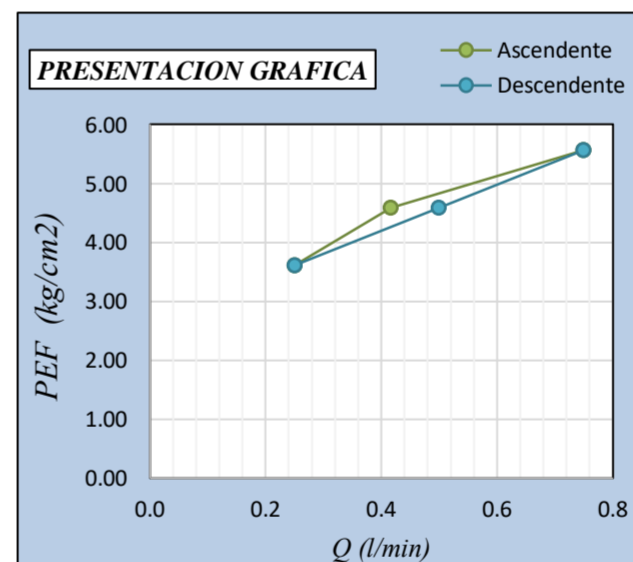
$\sigma_t = 41113 \text{ kg/cm}^2$ $\sigma' = 40513 \text{ kg/cm}^2$ $P_{max} = 39913 \text{ kg/cm}^2$
 $U = 600 \text{ kg/cm}^2$ $H_g = 26340 \text{ kg/cm}^2$ $P_{max} = 56.8 \text{ psi} = 3.9 \text{ Bar}$

RQD ≥ 75% P1=P5 = 0.25*Pmc RQD < 75% P1=P5 = 0.20*Pmc P1 = 14.2 psi = 1.0 Bar
 P2=P4 = 0.50*Pmax P2=P4 = 0.40*Pmc P2 = 28.4 psi = 2.0 Bar
 P3 = 0.75*Pmax P3 = 0.60*Pmc P3 = 42.6 psi = 2.9 Bar

tiempo en min	P1 14.2 psi / 1.0 Bar		P2 28.4 psi / 2.0 Bar		P3 42.6 psi / 2.9 Bar		P4 28.4 psi / 2.0 Bar		P5 14.2 psi / 1.0 Bar	
	lectura de caudal	Q (l/min)	lectura de caudal	Q (l/min)	lectura de caudal	Q (l/min)	lectura de caudal	Q (l/min)	lectura de caudal	Q (l/min)
0	3825.00	0.00	3830.00	0.00	3837.00	1.00	3848.00	1.00	3855.00	0.00
1	3825.00	0.00	3830.00	0.00	3838.00	1.00	3849.00	1.00	3855.00	0.00
2	3825.00	0.00	3831.00	1.00	3839.00	1.00	3849.00	0.00	3855.00	0.00
3	3826.00	1.00	3831.00	0.00	3840.00	1.00	3850.00	1.00	3856.00	1.00
4	3826.00	0.00	3832.00	1.00	3840.00	0.00	3850.00	0.00	3856.00	0.00
5	3826.00	0.00	3832.00	0.00	3841.00	1.00	3851.00	1.00	3856.00	0.00
6	3827.00	1.00	3833.00	1.00	3842.00	1.00	3852.00	1.00	3856.00	0.00
7	3827.00	0.00	3833.00	0.00	3843.00	1.00	3852.00	0.00	3857.00	1.00
8	3827.00	0.00	3834.00	1.00	3844.00	1.00	3853.00	1.00	3857.00	0.00
9	3827.00	0.00	3835.00	1.00	3845.00	1.00	3854.00	1.00	3857.00	0.00
10	3828.00	1.00	3835.00	0.00	3846.00	1.00	3854.00	0.00	3858.00	1.00
11										
12										
13										
14										
15										

qt (l/min)	3.00	5.00	9.00	6.00	3.00
q (l/min)	0.30	0.50	0.90	0.60	0.30
Q (l/min/m)	0.25	0.42	0.75	0.50	0.25
Δp (kg/cm2)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
CH (Δh/10)	2.63	2.63	2.63	2.63	2.63
PEF (kg/cm2)	3.61	4.59	5.57	4.59	3.61
UL (PEF/Q)	0.69	0.91	1.35	1.09	0.69

1 UL



Notas importantes:

- presión máxima permisible no debe superar 3.28psi/m
- No se toma en cuenta la presión de poros
- Se recomienda que el tramo de ensayo no debe ser mayor de 5 metros
- Cuando el taladro está inclinado se debe corregir las alturas según: Hsen(α)
- El incremento de la presión depende del RQD
- La prueba se desarrolla para rocas con RQD > 60%
- Esperar a que el caudal alcance un equilibrio constante antes de tomar lecturas
- Calibrar el caudalímetro antes de usar
- Cuando el taladro está saturado desde el inicio ha = 0.0m.

$PEF = (PM - \Delta p) + CH$

clasificación del valor de Lugeon representativo (Houlsby 1976)

0 - 1 UL	Muy Favorable
1 - 3 UL	Favorable
3 - 10 UL	Desfavorable
> 10 UL	Muy Desfavorable

Shimizu (1985)

Tipo de Flujo:	Dilatación
Unidad de Lugeon:	0.7 UL
Permeabilidad:	1.77E-05 cm/s
Condición:	Muy Favorable

NOTA:

V°B° CONTRATISTA

Nombre:

V°B° COMPAÑIA

Nombre:

ENSAYO DE PERMEABILIDAD TIPO LUGEON

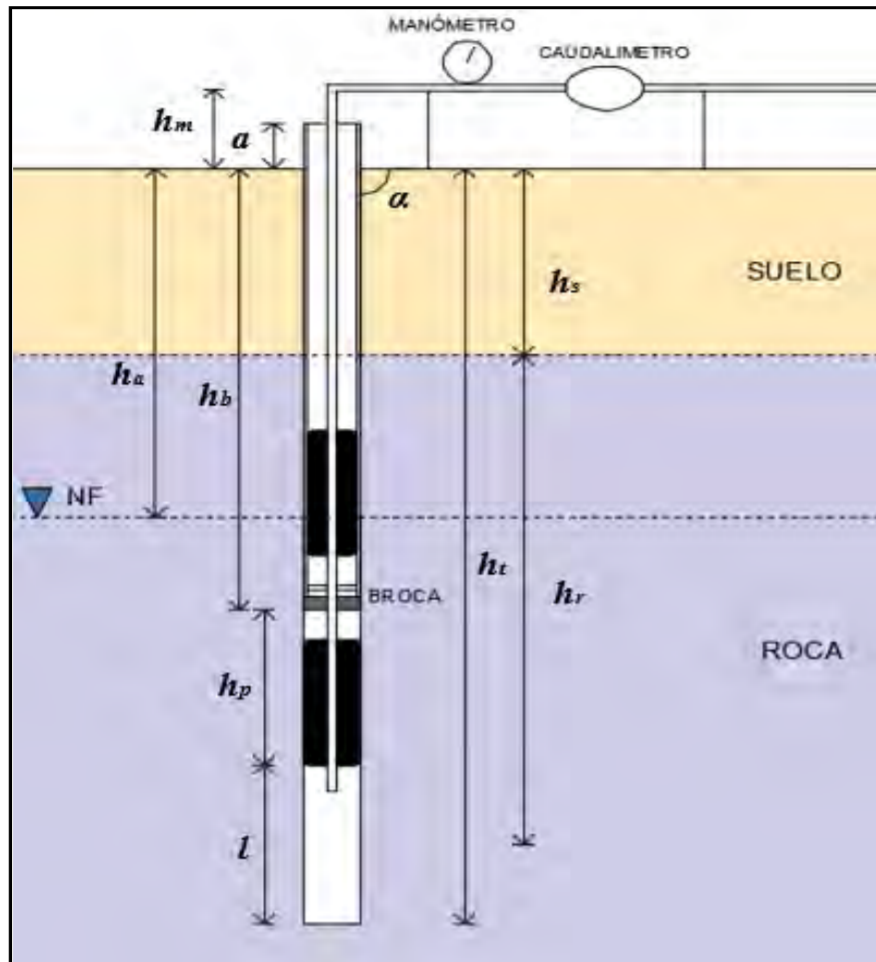
CODIGO DE PRUEBA: **DHPH03-LUGEON 04**

Proyecto: "MEJORAMIENTO Y AMPLIACIÓN DEL SERVICIO DE AGUA POTABLE Y SANEAMIENTO DE LA CIUDAD DE ESPINAR, DISTRITO DE ESPINAR, PROVINCIA DE ESPINAR – CUSCO"
Ubicación: HUAYLLUMAYO

DATOS DEL TALADRO			
Taladro:	DHPH-03	Ubicación:	P.HUAYLLUMAYO
Norte:	8349576	Inclinación:	90°
Este:	236005	Díametro:	11.10 cm.
Elevación:	4028 m.s.n.m.	NF:	29.80 m.

Nota: si no se encontro NF colocar seco

DATOS DEL ENSAYO			
Fecha:	01-jun-24	hb:	28.80 m.
Hora inicio:	14:30	ht:	31.00 m.
Hora fin:	15:25	Tramo (l):	1.20 m.
hp:	1.00 m.	RQD:	90%
hm:	0.84 m.	a (m):	0.63 m.



Presión de inflado del packer = Pp

a: Altura sobresaliente de la tubería = 0.63 m
 hb: Profundidad de la broca = 28.8 m
 hp: Longitud del packer en roca = 1.0 m
 Pw: Presión de trabajo del packer = 200.0 psi
 Ph: Presión hidrostática del packer = 44.124 psi

convertir 1m = 1.45psi
 $P_p = 292.9 \text{ psi} = 20.2 \text{ Bar}$

Maxima presión admisible = Pmax

hs: Profundidad del suelo perforado = 11.00 m
 hr: Profundidad de la roca perforada = 19.40 m
 ha: Nivel freático = 29.80 m
 Δh : sobre carga hidráulica = 30.64 m
 $\Delta h = h_m + h_t - l/2$ para pozo seco
 $\Delta h = h_m + h_a$ para pozo con NF

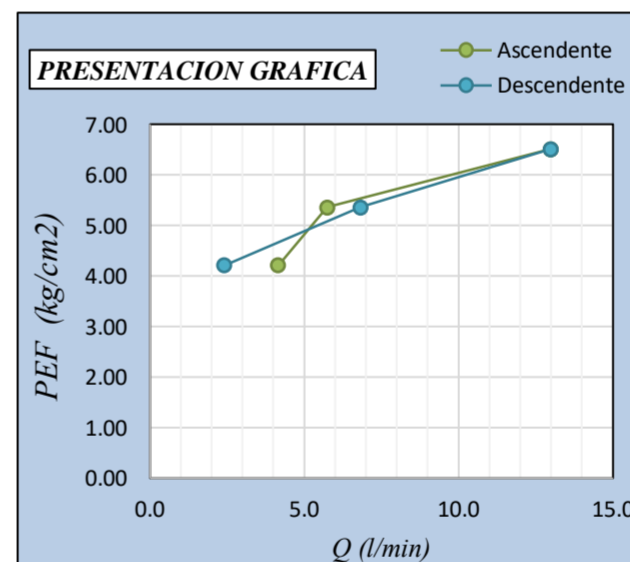
$\sigma_t = 48122 \text{ kg/cm}^2$ $\sigma' = 47522 \text{ kg/cm}^2$ $P_{max} = 46922 \text{ kg/cm}^2$
 $U = 600 \text{ kg/cm}^2$ $H_g = 30640 \text{ kg/cm}^2$ $P_{max} = 66.7 \text{ psi} = 4.6 \text{ Bar}$

RQD ≥ 75% $P_1 = P_5 = 0.25 * P_{mc}$ RQD < 75% $P_1 = P_5 = 0.20 * P_{mc}$ $P_1 = 16.7 \text{ psi} = 1.2 \text{ Bar}$
 $P_2 = P_4 = 0.50 * P_{max}$ $P_2 = P_4 = 0.40 * P_{mc}$ $P_2 = 33.4 \text{ psi} = 2.3 \text{ Bar}$
 $P_3 = 0.75 * P_{max}$ $P_3 = 0.60 * P_{mc}$ $P_3 = 50.1 \text{ psi} = 3.5 \text{ Bar}$

tiempo en min	P1 16.7 psi / 1.2 Bar		P2 33.4 psi / 2.3 Bar		P3 50.1 psi / 3.5 Bar		P4 33.4 psi / 2.3 Bar		P5 16.7 psi / 1.2 Bar	
	lectura de caudal	Q (l/min)	lectura de caudal	Q (l/min)	lectura de caudal	Q (l/min)	lectura de caudal	Q (l/min)	lectura de caudal	Q (l/min)
0	1410.00		1457.00		1532.00		1690.00		1776.00	
1	1422.00	12.00	1465.00	8.00	1546.00	14.00	1699.00	9.00	1780.00	4.00
2	1432.00	10.00	1472.00	7.00	1562.00	16.00	1707.00	8.00	1783.00	3.00
3	1440.00	8.00	1479.00	7.00	1577.00	15.00	1715.00	8.00	1786.00	3.00
4	1445.00	5.00	1486.00	7.00	1593.00	16.00	1723.00	8.00	1788.00	2.00
5	1447.00	2.00	1493.00	7.00	1608.00	15.00	1731.00	8.00	1791.00	3.00
6	1450.00	3.00	1500.00	7.00	1624.00	16.00	1739.00	8.00	1794.00	3.00
7	1453.00	3.00	1506.00	6.00	1640.00	16.00	1747.00	8.00	1796.00	2.00
8	1456.00	3.00	1512.00	6.00	1656.00	16.00	1755.00	8.00	1799.00	3.00
9	1458.00	2.00	1519.00	7.00	1672.00	16.00	1763.00	8.00	1802.00	3.00
10	1460.00	2.00	1526.00	7.00	1688.00	16.00	1772.00	9.00	1805.00	3.00
11										
12										
13										
14										
15										

qt (l/min)	50.00	69.00	156.00	82.00	29.00
q (l/min)	5.00	6.90	15.60	8.20	2.90
Q (l/min/m)	4.17	5.75	13.00	6.83	2.42
Δp (kg/cm²)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
CH (Δh/10)	3.06	3.06	3.06	3.06	3.06
PEF (kg/cm²)	4.21	5.37	6.52	5.37	4.21
UL (PEF/Q)	9.89	10.72	19.95	12.74	5.73

1 UL



Notas importantes:

- presión máxima permisible no debe superar 3.28psi/m
- No se tomo en cuenta la presión de poros
- Se recomienda que el tramo de ensayo no debe de ser mayor de 5metros
- Cuando el taladro esta inclinado se debe de corregir las alturas según: Hsen(α)
- El incremento de la presión depende del RQD
- La prueba se desarrolla para rocas con RQD > 60%
- Esperar a que el caudal alcance un equilibrio constante antes de tomar lecturas
- Calibrara el caudalímetro antes de usar
- Cuando el taladro esta saturado desde el inicio ha = 0.0m.

$PEF = (PM - \Delta p) + CH$

clasificación del valor de Lugeon representativo (Houlsby 1976)

0 - 1 UL Muy Favorable
 1 - 3 UL Favorable
 3 - 10 UL Desfavorable
 > 10 UL Muy Desfavorable

Shimizu (1985)

Tipo de Flujo:	Dilatación
Unidad de Lugeon:	5.7 UL
Permeabilidad:	1.47E-04 cm/s
Condición:	Desfavorable

NOTA:

V°B° CONTRATISTA

Nombre:

V°B° COMPAÑIA

Nombre:

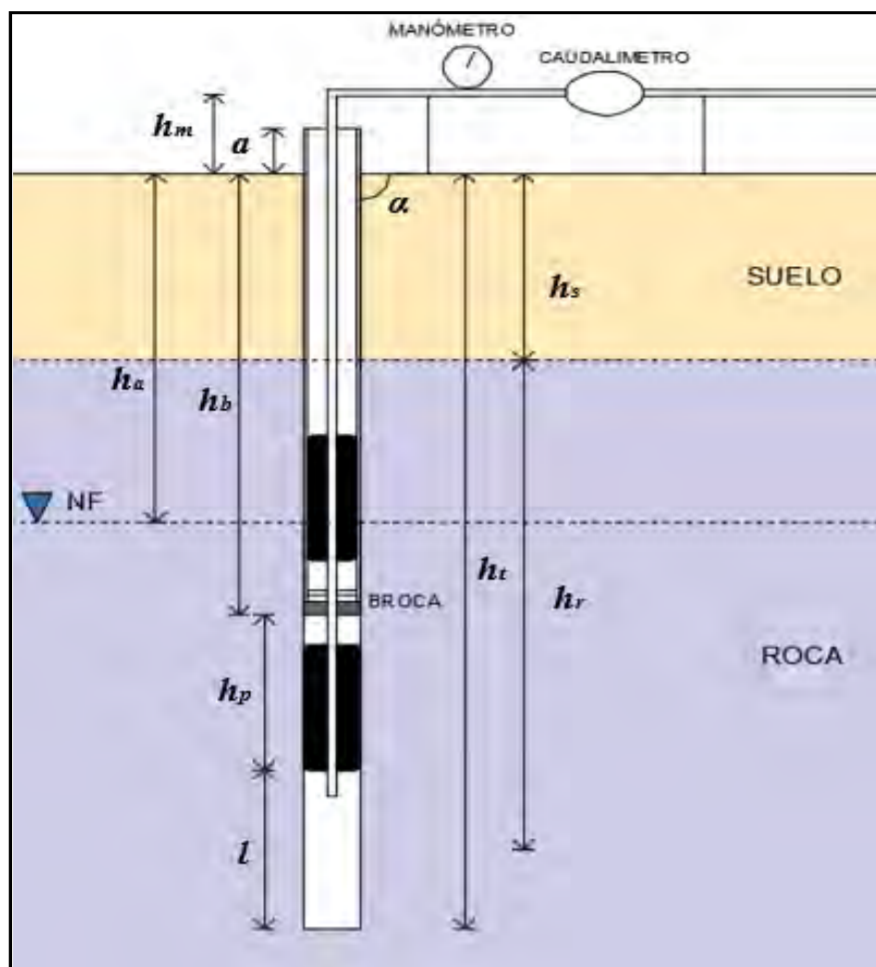
ENSAYO DE PERMEABILIDAD TIPO LUGEON
CODIGO DE PRUEBA: DHPH03-LUGEON 05

Proyecto:	"MEJORAMIENTO Y AMPLIACIÓN DEL SERVICIO DE AGUA POTABLE Y SANEAMIENTO DE LA CIUDAD DE ESPINAR, DISTRITO DE ESPINAR, PROVINCIA DE ESPINAR – CUSCO"
Ubicación:	HUAYLLUMAYO

DATOS DEL TALADRO			
Taladro:	DHPH-03	Ubicación:	P.HUAYLLUMAYO
Norte:	8349576	Inclinación:	90°
Este:	236005	Díametro :	11.10 cm.
Elevación:	4028 m.s.n.m.	NF :	29.80 m.

Nota: si no se encontro NF colocar seco

DATOS DEL ENSAYO					
Fecha:	01-jun-24	hb:	35.50 m.	H suelo:	11.00 m.
Hora inicio:	17:25	ht:	37.70 m.	γsuelo:	1500 kg/cm3
Hora fin:	18:30	Tramo (l):	1.20 m.	H roca:	26.10 m.
hp :	1.00 m.	RQD:	90%	γroca:	1630 kg/cm3
hm :	0.84 m.	a (m):	0.60 m.	γagua:	1000 kg/cm3



Presión de inflado del packer = Pp

a: Altura sobresaliente de la tubería = 0.60 m
 hb: Profundidad de la broca = 35.5 m
 hp: Longitud del packer en roca = 1.0 m
 Pw: Presión de trabajo del packer = 200.0 psi
 Ph: Presión hidrostática del packer = 53.795 psi

convertir 1m = 1.45psi
Pp = 304.6 psi = 21.0 Bar

Maxima presión admisible = Pmax

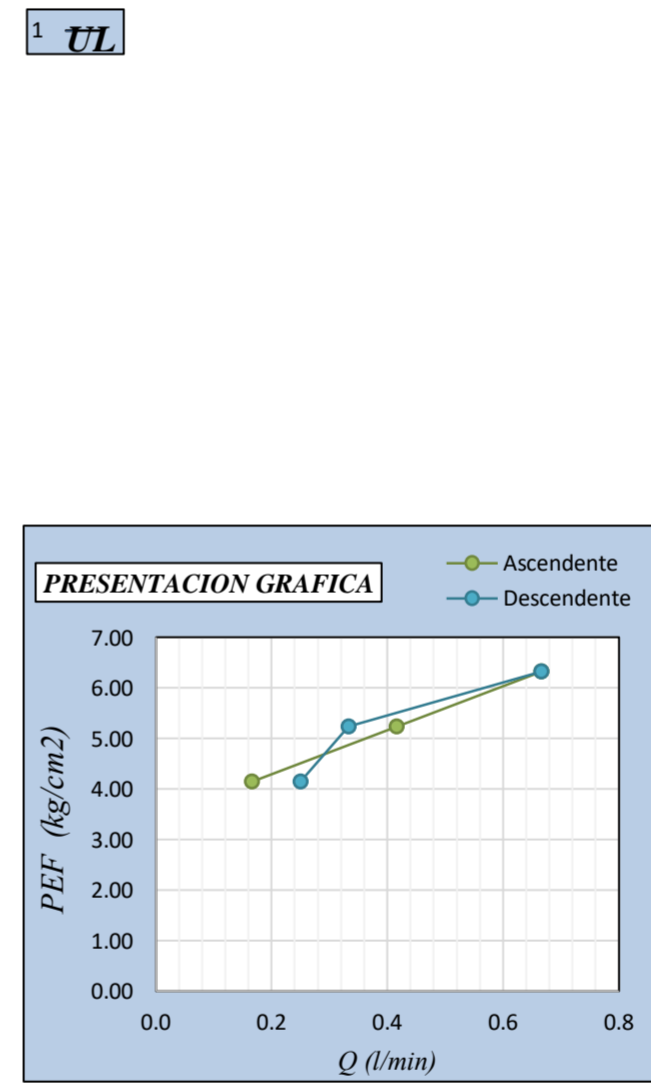
hs: Profundidad del suelo perforado = 11.00 m
 hr: Profundidad de la roca perforada = 26.10 m
 ha: Nivel freático = 29.80 m
 Δh: sobre carga hidráulica = 30.64 m
 Δh = hm+ht-l/2 para pozo seco
 Δh = hm+ha para pozo con NF

σt = 59043 kg/cm2 σ' = 51743 kg/cm2 Pmax = 44443 kg/cm2
 U = 7300 kg/cm2 Hg = 30640 kg/cm2 Pmax = 63.2 psi = 4.4 Bar

RQD ≥ 75% P1=P5 = 0.25*Pmc RQD < 75% P1=P5 = 0.20*Pmc P1 = 15.8 psi = 1.1 Bar
 P2=P4 = 0.50*Pmax P2=P4 = 0.40*Pmc P2 = 31.6 psi = 2.2 Bar
 P3 = 0.75*Pmax P3 = 0.60*Pmc P3 = 47.4 psi = 3.3 Bar

tiempo en min	P1 15.8 psi / 1.1 Bar		P2 31.6 psi / 2.2 Bar		P3 47.4 psi / 3.3 Bar		P4 31.6 psi / 2.2 Bar		P5 15.8 psi / 1.1 Bar	
	lectura de caudal	Q (l/min)	lectura de caudal	Q (l/min)	lectura de caudal	Q (l/min)	lectura de caudal	Q (l/min)	lectura de caudal	Q (l/min)
0	1810.00	0.00	1815.00	0.00	1825.00	0.00	1834.00	0.00	1839.00	0.00
1	1810.00	0.00	1815.00	0.00	1826.00	1.00	1834.00	0.00	1840.00	1.00
2	1810.00	0.00	1816.00	1.00	1827.00	1.00	1834.00	0.00	1840.00	0.00
3	1810.00	0.00	1816.00	1.00	1828.00	1.00	1834.00	0.00	1840.00	0.00
4	1811.00	1.00	1817.00	1.00	1829.00	1.00	1835.00	1.00	1840.00	0.00
5	1811.00	0.00	1817.00	0.00	1830.00	1.00	1835.00	0.00	1841.00	1.00
6	1811.00	0.00	1818.00	1.00	1831.00	1.00	1835.00	0.00	1841.00	0.00
7	1812.00	1.00	1818.00	0.00	1832.00	1.00	1836.00	1.00	1841.00	0.00
8	1812.00	0.00	1819.00	1.00	1833.00	1.00	1837.00	1.00	1842.00	1.00
9	1812.00	0.00	1819.00	0.00	1833.00	0.00	1838.00	1.00	1842.00	0.00
10	1812.00	0.00	1820.00	1.00	1833.00	0.00	1838.00	0.00	1842.00	0.00
11										
12										
13										
14										
15										

qt (l/min)	2.00	5.00	8.00	4.00	3.00
q (l/min)	0.20	0.50	0.80	0.40	0.30
Q (l/min/m)	0.17	0.42	0.67	0.33	0.25
Δp (kg/cm2)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
CH (Δh/10)	3.06	3.06	3.06	3.06	3.06
PEF (kg/cm2)	4.15	5.24	6.33	5.24	4.15
UL (PEF/Q)	0.40	0.79	1.05	0.64	0.60



Notas importantes:

- presión máxima permisible no debe superar 3.28psi/m
- No se tomo en cuenta la presión de poros
- Se recomienda que el tramo de ensayo no debe de ser mayor de 5metros
- Cuando el taladro esta inclinado se debe de corregir las alturas según: Hsen(α)
- El incremento de la presión depende del RQD
- La prueba se desarrolla para rocas con RQD > 60%
- Esperar a que el caudal alcance un equilibrio constante antes de tomar lecturas
- Calibrar el caudalímetro antes de usar
- Cuando el taladro esta saturado desde el inicio ha = 0.0m.

$PEF = (PM - \Delta p) + CH$

clasificación del valor de Lugeon representativo (Houlsby 1976)

0 - 1 UL	Muy Favorable
1 - 3 UL	Favorable
3 - 10 UL	Desfavorable
> 10 UL	Muy Desfavorable

Shimizu (1985)

Tipo de Flujo:	Dilatación
Unidad de Lugeon:	0.4 UL
Permeabilidad:	1.03E-05 cm/s
Condición:	Muy Favorable

NOTA:

V°B° CONTRATISTA

Nombre:

V°B° COMPAÑIA

Nombre:

ENSAYO DE PERMEABILIDAD TIPO LUGEON

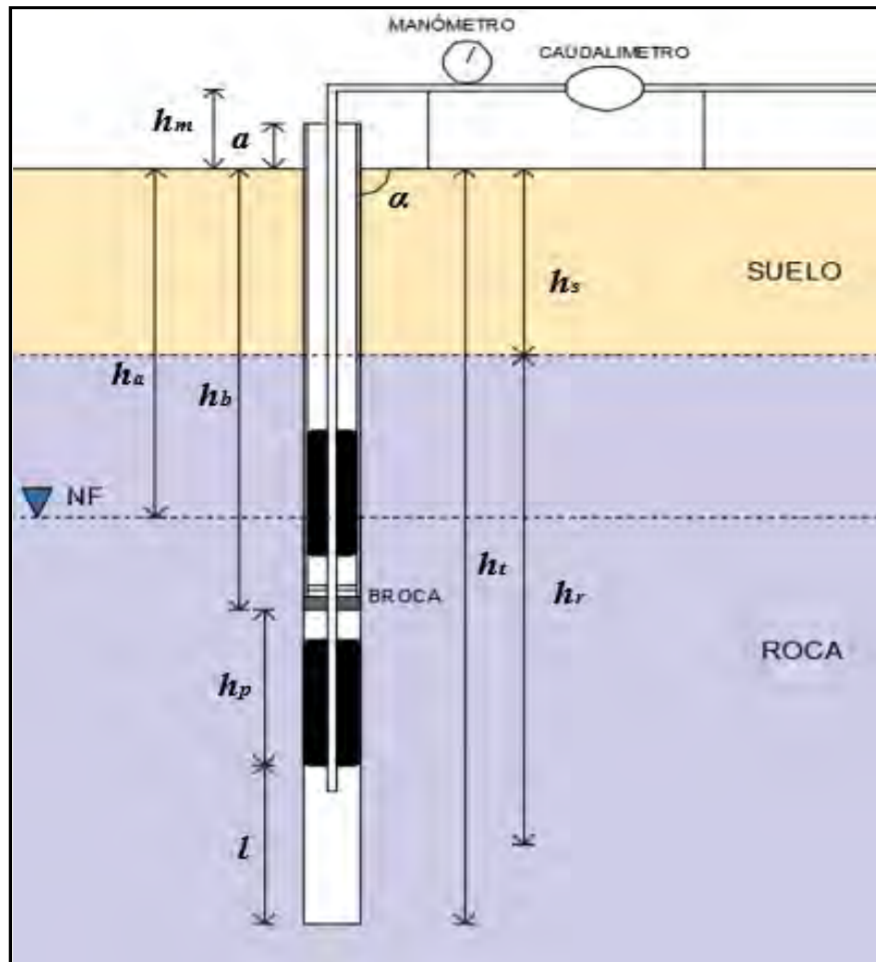
CODIGO DE PRUEBA: **DHPH03-LUGEON 06**

Proyecto: "MEJORAMIENTO Y AMPLIACIÓN DEL SERVICIO DE AGUA POTABLE Y SANEAMIENTO DE LA CIUDAD DE ESPINAR, DISTRITO DE ESPINAR, PROVINCIA DE ESPINAR – CUSCO"
Ubicación: HUAYLLUMAYO

DATOS DEL TALADRO			
Taladro:	DHPH-03	Ubicación:	P.HUAYLLUMAYO
Norte:	8349576	Inclinación:	90°
Este:	236005	Díametro:	11.10 cm.
Elevación:	4028 m.s.n.m.	NF:	39.10 m.

Nota: si no se encontro NF colocar seco

DATOS DEL ENSAYO					
Fecha:	01-jun-24	hb:	37.90 m.	H suelo:	11.00 m.
Hora inicio:	20:10	ht:	40.10 m.	γsuelo:	1500 kg/cm3
Hora fin:	20:50	Tramo (l):	1.20 m.	H roca:	28.50 m.
hp:	1.00 m.	RQD:	90%	γroca:	1630 kg/cm3
hm:	0.84 m.	a (m):	0.63 m.	γagua:	1000 kg/cm3



Presión de inflado del packer = Pp

a: Altura sobresaliente de la tubería = 0.63 m
 hb: Profundidad de la broca = 37.9 m
 hp: Longitud del packer en roca = 1.0 m
 Pw: Presión de trabajo del packer = 200.0 psi
 Ph: Presión hidrostática del packer = 57.319 psi

convertir 1m = 1.45psi
 $P_p = 308.8 \text{ psi} = 21.3 \text{ Bar}$

Maxima presión admisible = Pmax

hs: Profundidad del suelo perforado = 11.00 m
 hr: Profundidad de la roca perforada = 28.50 m
 ha: Nivel freático = 39.10 m
 Δh: sobre carga hidráulica = 39.94 m
 Δh = hm+ht-l/2 para pozo seco
 Δh = hm+ha para pozo con NF

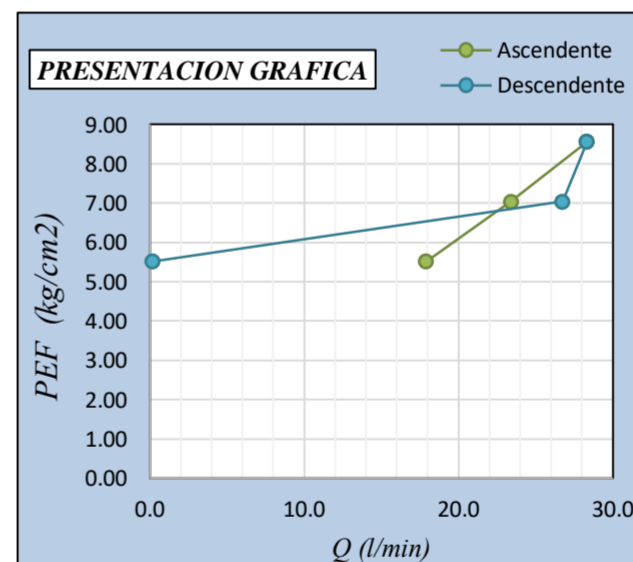
σt = 62955 kg/cm2 σ' = 62555 kg/cm2 Pmax = 62155 kg/cm2
 U = 400 kg/cm2 Hg = 39940 kg/cm2 Pmax = 88.4 psi = 6.1 Bar

RQD ≥ 75% P1=P5 = 0.25*Pmc RQD < 75% P1=P5 = 0.20*Pmc P1 = 22.1 psi = 1.5 Bar
 P2=P4 = 0.50*Pmax P2=P4 = 0.40*Pmc P2 = 44.2 psi = 3.0 Bar
 P3 = 0.75*Pmax P3 = 0.60*Pmc P3 = 66.3 psi = 4.6 Bar

tiempo en min	P1 22.1 psi / 1.5 Bar		P2 44.2 psi / 3.0 Bar		P3 66.3 psi / 4.6 Bar		P4 44.2 psi / 3.0 Bar		P5 22.1 psi / 1.5 Bar	
	lectura de caudal	Q (l/min)	lectura de caudal	Q (l/min)	lectura de caudal	Q (l/min)	lectura de caudal	Q (l/min)	lectura de caudal	Q (l/min)
0	1750.00		1975.00		2285.00		2640.00		2962.00	
1	1771.00	21.00	2014.00	39.00	2321.00	36.00	2673.00	33.00	2962.00	0.00
2	1793.00	22.00	2048.00	34.00	2356.00	35.00	2705.00	32.00	2962.00	0.00
3	1814.00	21.00	2079.00	31.00	2392.00	36.00	2737.00	32.00	2962.00	0.00
4	1836.00	22.00	2106.00	27.00	2438.00	46.00	2769.00	32.00	2963.00	1.00
5	1857.00	21.00	2131.00	25.00	2461.00	23.00	2801.00	32.00	2963.00	0.00
6	1878.00	21.00	2159.00	28.00	2493.00	32.00	2833.00	32.00	2963.00	0.00
7	1899.00	21.00	2198.00	39.00	2525.00	32.00	2865.00	32.00	2963.00	0.00
8	1921.00	22.00	2217.00	19.00	2558.00	33.00	2897.00	32.00	2963.00	0.00
9	1943.00	22.00	2237.00	20.00	2592.00	34.00	2929.00	32.00	2963.00	0.00
10	1965.00	22.00	2256.00	19.00	2625.00	33.00	2961.00	32.00	2964.00	1.00
11										
12										
13										
14										
15										

qt (l/min)	215.00	281.00	340.00	321.00	2.00
q (l/min)	21.50	28.10	34.00	32.10	0.20
Q (l/min/m)	17.92	23.42	28.33	26.75	0.17
Δp (kg/cm2)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
CH (Δh/10)	3.99	3.99	3.99	3.99	3.99
PEF (kg/cm2)	5.52	7.04	8.57	7.04	5.52
UL (PEF/Q)	32.47	33.25	33.07	37.98	0.30

1 UL



Notas importantes:

- presión máxima permisible no debe superar 3.28psi/m
- No se tomo en cuenta la presión de poros
- Se recomienda que el tramo de ensayo no debe de ser mayor de 5metros
- Cuando el taladro esta inclinado se debe de corregir las alturas según: Hsen(α)
- El incremento de la presión depende del RQD
- La prueba se desarrolla para rocas con RQD > 60%
- Esperar a que el caudal alcance un equilibrio constante antes de tomar lecturas
- Calibrar el caudalímetro antes de usar
- Cuando el taladro esta saturado desde el inicio ha = 0.0m.

$PEF = (PM - \Delta p) + CH$

clasificación del valor de Lugeon representativo (Houlsby 1976)

0 - 1 UL	Muy Favorable
1 - 3 UL	Favorable
3 - 10 UL	Desfavorable
> 10 UL	Muy Desfavorable

Shimizu (1985)

Tipo de Flujo:	Relleno
Unidad de Lugeon:	0.3 UL
Permeabilidad:	7.74E-06 cm/s
Condición:	Muy Favorable

NOTA:

V°B° CONTRATISTA

Nombre:

V°B° COMPAÑIA

Nombre:

ENSAYO DE PERMEABILIDAD TIPO LUGEON

CODIGO DE PRUEBA: **DHPH04-LUGEON 01**

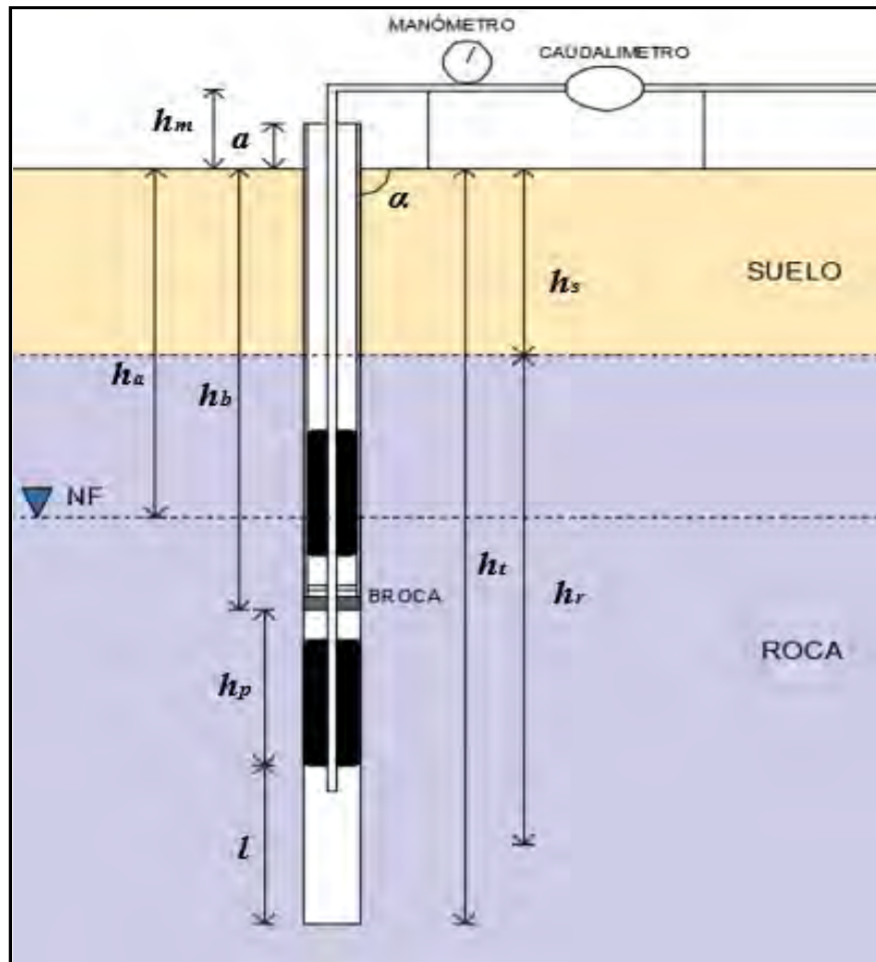
Proyecto: "MEJORAMIENTO Y AMPLIACIÓN DEL SERVICIO DE AGUA POTABLE Y SANEAMIENTO DE LA CIUDAD DE ESPINAR, DISTRITO DE ESPINAR, PROVINCIA DE ESPINAR – CUSCO"

Ubicación:

DATOS DEL TALADRO			
Taladro:	DHPH-04	Ubicación:	P.HUAYLLUMAYO
Norte:	8349485	Inclinación:	90°
Este:	236033	Diametro :	11.10 cm.
Elevación:	4042 m.s.n.m.	NF :	seco

Nota: si no se encontro NF colocar seco

DATOS DEL ENSAYO			
Fecha:	13-may-24	hb:	3.40 m.
Hora inicio:	11:45	ht:	6.10 m.
Hora fin:	12:40	Tramo (l):	1.70 m.
hp :	1.00 m.	RQD:	100%
hm :	0.50 m.	a (m):	2.35 m.



Presion de inflado del packer = Pp

a: Altura sobresaliente de la tubería = 2.35 m
 hb: Profundidad de la broca = 3.4 m
 hp: Longitud del packer en roca = 1.0 m
 Pw: Presion de trabajo del packer = 200.0 psi
 Ph: Presion hidrostática del packer = 9.7875 psi

convertir 1m = 1.45psi
 $P_p = 251.7 \text{ psi} = 17.4 \text{ Bar}$

Maxima presion admisible = Pmax

hs: Profundidad del suelo perforado = 1.60 m
 hr: Profundidad de la roca perforada = 3.65 m
 ha: Nivel freático = seco m
 Δh: sobre carga hidráulica = 5.75 m
 Δh = hm+ht-l/2 para pozo seco
 Δh = hm+ha para pozo con NF

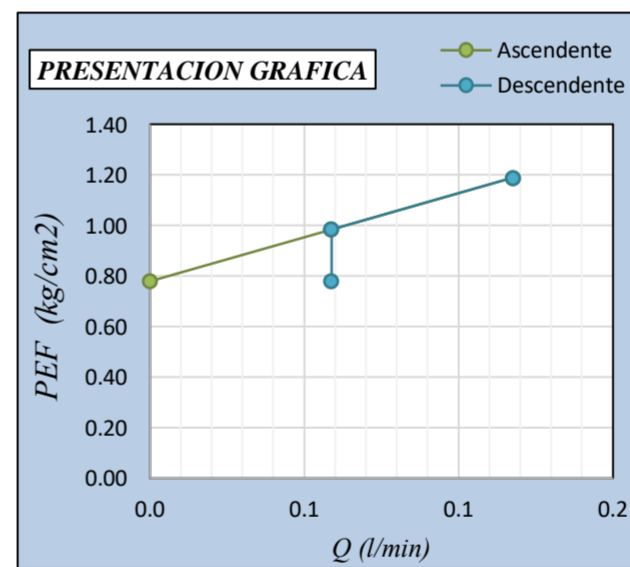
$\sigma_t = 8349.5 \text{ kg/cm}^2$ $\sigma' = 8349.5 \text{ kg/cm}^2$ $P_{max} = 8349.5 \text{ kg/cm}^2$
 $U = 0 \text{ kg/cm}^2$ $H_g = 5750 \text{ kg/cm}^2$ $P_{max} = 11.9 \text{ psi} = 0.8 \text{ Bar}$

RQD ≥ 75% $P_1 = P_5 = 0.25 * P_{mc}$ RQD < 75% $P_1 = P_5 = 0.20 * P_{mc}$ $P_1 = 3.0 \text{ psi} = 0.2 \text{ Bar}$
 $P_2 = P_4 = 0.50 * P_{max}$ $P_2 = P_4 = 0.40 * P_{mc}$ $P_2 = 5.9 \text{ psi} = 0.4 \text{ Bar}$
 $P_3 = 0.75 * P_{max}$ $P_3 = 0.60 * P_{mc}$ $P_3 = 8.9 \text{ psi} = 0.6 \text{ Bar}$

tiempo en min	P1 3.0 psi / 0.2 Bar		P2 5.9 psi / 0.4 Bar		P3 8.9 psi / 0.6 Bar		P4 5.9 psi / 0.4 Bar		P5 3.0 psi / 0.2 Bar	
	lectura de caudal	Q (l/min)	lectura de caudal	Q (l/min)	lectura de caudal	Q (l/min)	lectura de caudal	Q (l/min)	lectura de caudal	Q (l/min)
0	3056.00	0.00	3056.00	0.00	3057.00	0.00	3059.00	0.00	3060.00	0.00
1	3056.00	0.00	3056.00	0.00	3057.00	0.00	3059.00	0.00	3060.00	0.00
2	3056.00	0.00	3056.00	0.00	3057.00	0.00	3059.00	0.00	3060.00	0.00
3	3056.00	0.00	3056.00	0.00	3058.00	1.00	3059.00	0.00	3060.00	0.00
4	3056.00	0.00	3056.00	0.00	3058.00	0.00	3059.00	0.00	3060.00	0.00
5	3056.00	0.00	3056.00	0.00	3058.00	0.00	3059.00	0.00	3060.00	0.00
6	3056.00	0.00	3057.00	1.00	3058.00	0.00	3060.00	1.00	3060.00	0.00
7	3056.00	0.00	3057.00	0.00	3058.00	0.00	3060.00	0.00	3060.00	0.00
8	3056.00	0.00	3057.00	0.00	3059.00	1.00	3060.00	0.00	3060.00	0.00
9	3056.00	0.00	3057.00	0.00	3059.00	0.00	3060.00	0.00	3060.00	0.00
10	3056.00	0.00	3057.00	0.00	3059.00	0.00	3060.00	0.00	3061.00	1.00
11										
12										
13										
14										
15										

qt (l/min)	0.00	1.00	2.00	1.00	1.00
q (l/min)	0.00	0.10	0.20	0.10	0.10
Q (l/min/m)	0.00	0.06	0.12	0.06	0.06
Δp (kg/cm²)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
CH (Δh/10)	0.58	0.58	0.58	0.58	0.58
PEF (kg/cm²)	0.78	0.98	1.19	0.98	0.78
UL (PEF/Q)	0.00	0.60	0.99	0.60	0.75

1 UL



Notas importantes:

- presión máxima permisible no debe superar 3.28psi/m
- No se tomo en cuenta la presion de poros
- Se recomienda que el tramo de ensayo no debe de ser mayor de 5metros
- Cuando el taladro esta inclinado se debe de correguir las alturas según: Hsen(α)
- El incremento de la presion depende del RQD
- La prueba se desarrolla para rocas con RQD > 60%
- Esperar a que el caudal alcance un equilibrio constante antes de tomar lecturas
- Calibrara el caudalimetro antes de usar
- Cuando el taladro esta saturado desde el inicio ha = 0.0m.

$PEF = (PM - \Delta p) + CH$

clasificacion del valor de Lugeon representativo (Houlsby 1976)

0 - 1 UL Muy Favorable
 1 - 3 UL Favorable
 3 - 10 UL Desfavorable
 > 10 UL Muy Desfavorable

Shimizu (1985)

Tipo de Flujo:	Erosión
Unidad de Lugeon:	1.0 UL
Permeabilidad:	2.82E-05 cm/s
Condición:	Muy Favorable

NOTA:

V°B° CONTRATISTA
Nombre:

V°B° COMPAÑIA
Nombre:

ENSAYO DE PERMEABILIDAD TIPO LUGEON

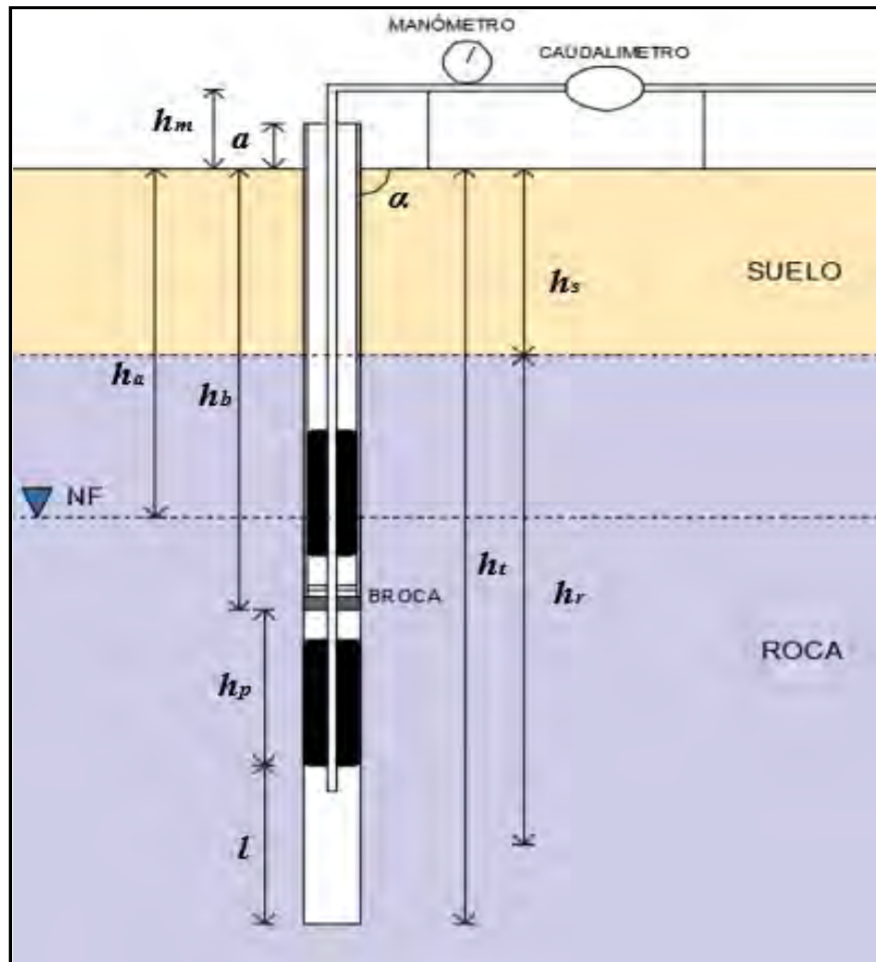
CODIGO DE PRUEBA: **DHPH04-LUGEON 02**

Proyecto: "MEJORAMIENTO Y AMPLIACIÓN DEL SERVICIO DE AGUA POTABLE Y SANEAMIENTO DE LA CIUDAD DE ESPINAR, DISTRITO DE ESPINAR, PROVINCIA DE ESPINAR – CUSCO"
Ubicación: LOCALIDAD HUAYLLUMAYO

DATOS DEL TALADRO			
Taladro:	DHPH-04	Ubicación:	P.HUAYLLUMAYO
Norte:	8349485	Inclinación:	90°
Este:	236033	Díametro:	11.10 cm.
Elevación:	4042 m.s.n.m.	NF:	seco

Nota: si no se encontro NF colocar seco

DATOS DEL ENSAYO			
Fecha:	18-may-24	hb:	8.75 m.
Hora inicio:	18:48	ht:	10.80 m.
Hora fin:	19:48	Tramo (l):	1.05 m.
hp:	1.00 m.	RQD:	100%
hm:	0.50 m.	a (m):	2.85 m.



Presión de inflado del packer = Pp

a: Altura sobresaliente de la tubería = 2.85 m
 hb: Profundidad de la broca = 8.8 m
 hp: Longitud del packer en roca = 1.0 m
 Pw: Presión de trabajo del packer = 200.0 psi
 Ph: Presión hidrostática del packer = 18.27 psi

convertir 1m = 1.45psi
 $P_p = 261.9 \text{ psi} = 18.1 \text{ Bar}$

Maxima presión admisible = Pmax

hs: Profundidad del suelo perforado = 1.60 m
 hr: Profundidad de la roca perforada = 8.68 m
 ha: Nivel freático = seco m
 Δh : sobre carga hidráulica = 10.78 m
 $\Delta h = h_m + h_t - l/2$ para pozo seco
 $\Delta h = h_m + h_a$ para pozo con NF

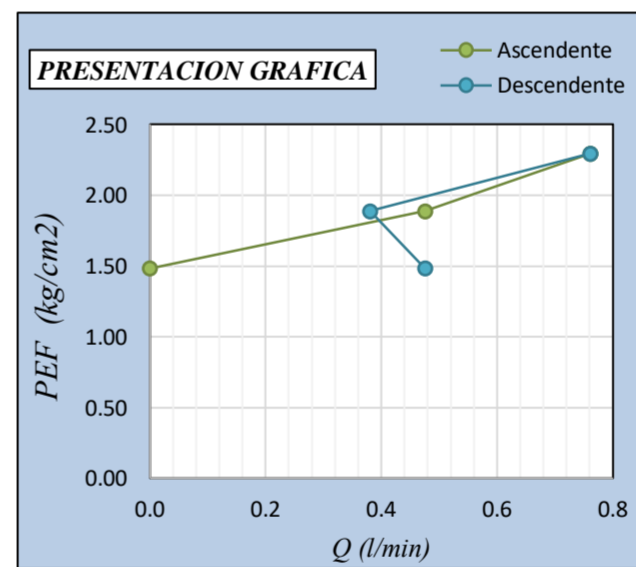
$\sigma_t = 16540 \text{ kg/cm}^2$ $\sigma' = 16540 \text{ kg/cm}^2$ $P_{max} = 16540 \text{ kg/cm}^2$
 $U = 0 \text{ kg/cm}^2$ $H_g = 10775 \text{ kg/cm}^2$ $P_{max} = 23.5 \text{ psi} = 1.6 \text{ Bar}$

RQD ≥ 75% $P_1 = P_5 = 0.25 * P_{mc}$ RQD < 75% $P_1 = P_5 = 0.20 * P_{mc}$ $P_1 = 5.9 \text{ psi} = 0.4 \text{ Bar}$
 $P_2 = P_4 = 0.50 * P_{max}$ $P_2 = P_4 = 0.40 * P_{mc}$ $P_2 = 11.8 \text{ psi} = 0.8 \text{ Bar}$
 $P_3 = 0.75 * P_{max}$ $P_3 = 0.60 * P_{mc}$ $P_3 = 17.6 \text{ psi} = 1.2 \text{ Bar}$

tiempo en min	P1 5.9 psi / 0.4 Bar		P2 11.8 psi / 0.8 Bar		P3 17.6 psi / 1.2 Bar		P4 11.8 psi / 0.8 Bar		P5 5.9 psi / 0.4 Bar	
	lectura de caudal	Q (l/min)	lectura de caudal	Q (l/min)	lectura de caudal	Q (l/min)	lectura de caudal	Q (l/min)	lectura de caudal	Q (l/min)
0	3370.00	0.00	3371.00	0.00	3379.00	1.00	3386.00	0.00	3390.00	0.00
1	3370.00	0.00	3371.00	0.00	3380.00	1.00	3386.00	0.00	3391.00	1.00
2	3370.00	0.00	3372.00	1.00	3381.00	1.00	3387.00	1.00	3391.00	0.00
3	3370.00	0.00	3372.00	0.00	3382.00	1.00	3387.00	0.00	3391.00	0.00
4	3370.00	0.00	3373.00	1.00	3382.00	1.00	3387.00	0.00	3391.00	0.00
5	3370.00	0.00	3373.00	0.00	3383.00	1.00	3388.00	1.00	3391.00	0.00
6	3370.00	0.00	3374.00	1.00	3384.00	1.00	3388.00	0.00	3394.00	3.00
7	3370.00	0.00	3374.00	0.00	3384.00	0.00	3389.00	1.00	3394.00	0.00
8	3370.00	0.00	3375.00	1.00	3385.00	1.00	3389.00	0.00	3394.00	0.00
9	3370.00	0.00	3375.00	0.00	3385.00	0.00	3389.00	0.00	3395.00	1.00
10	3370.00	0.00	3376.00	1.00	3386.00	1.00	3390.00	1.00	3395.00	0.00
11										
12										
13										
14										
15										

qt (l/min)	0.00	5.00	8.00	4.00	5.00
q (l/min)	0.00	0.50	0.80	0.40	0.50
Q (l/min/m)	0.00	0.48	0.76	0.38	0.48
Δp (kg/cm ²)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
CH (Δh/10)	1.08	1.08	1.08	1.08	1.08
PEF (kg/cm ²)	1.48	1.89	2.29	1.89	1.48
UL (PEF/Q)	0.00	2.52	3.32	2.02	3.21

1 UL



Notas importantes:

- presión máxima permisible no debe superar 3.28psi/m
- No se tomo en cuenta la presión de poros
- Se recomienda que el tramo de ensayo no debe de ser mayor de 5metros
- Cuando el taladro esta inclinado se debe de corregir las alturas según: Hsen(α)
- El incremento de la presión depende del RQD
- La prueba se desarrolla para rocas con RQD > 60%
- Esperar a que el caudal alcance un equilibrio constante antes de tomar lecturas
- Calibrara el caudalímetro antes de usar
- Cuando el taladro esta saturado desde el inicio ha = 0.0m.

$PEF = (PM - \Delta p) + CH$

clasificación del valor de Lugeon representativo (Houlsby 1976)

0 - 1 UL	Muy Favorable
1 - 3 UL	Favorable
3 - 10 UL	Desfavorable
> 10 UL	Muy Desfavorable

Shimizu (1985)

Tipo de Flujo:	Erosión
Unidad de Lugeon:	3.3 UL
Permeabilidad:	8.14E-05 cm/s
Condición:	Desfavorable

NOTA:

V°B° CONTRATISTA

Nombre:

V°B° COMPAÑIA

Nombre:

ENSAYO DE PERMEABILIDAD TIPO LUGEON

CODIGO DE PRUEBA: **DHPH04-LUGEON 03**

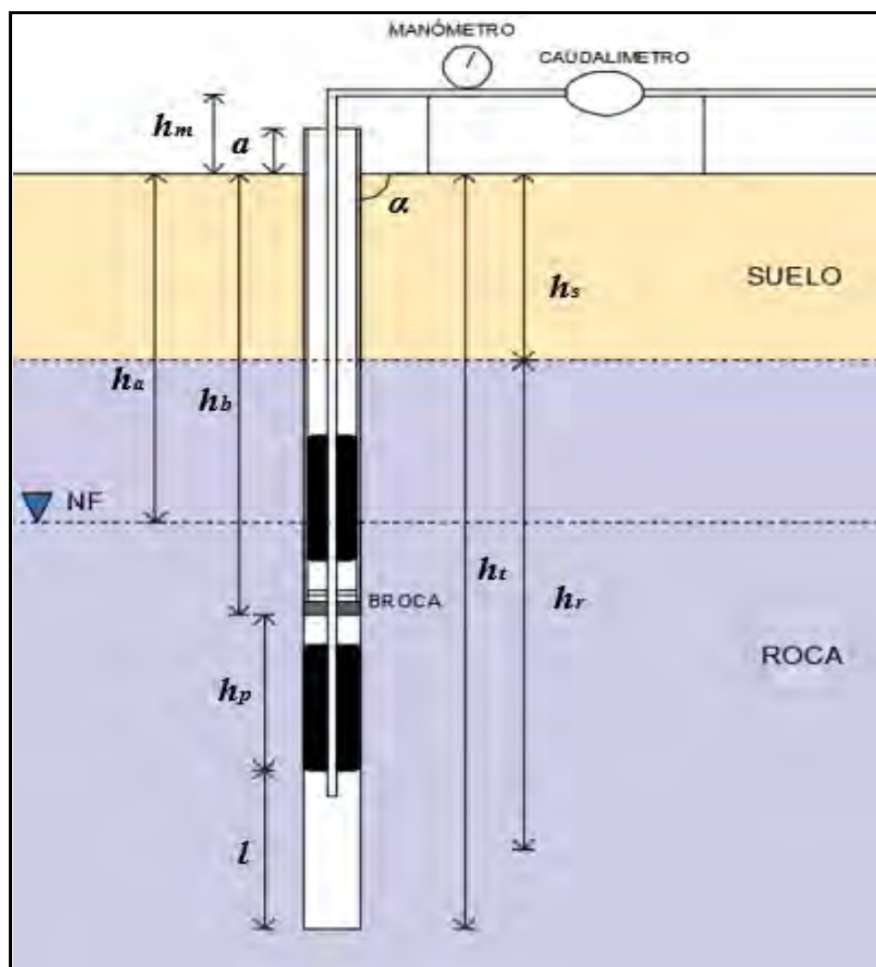
Proyecto: "MEJORAMIENTO Y AMPLIACIÓN DEL SERVICIO DE AGUA POTABLE Y SANEAMIENTO DE LA CIUDAD DE ESPINAR, DISTRITO DE ESPINAR, PROVINCIA DE ESPINAR – CUSCO"

Ubicación: LOCALIDAD HUAYLLUMAYO

DATOS DEL TALADRO			
Taladro:	DHPH-04	Ubicación:	P.HUAYLLUMAYO
Norte:	8349485	Inclinación:	90°
Este:	236033	Díametro:	11.10 cm.
Elevación:	4042 m.s.n.m.	NF:	seco

Nota: si no se encontro NF colocar seco

DATOS DEL ENSAYO					
Fecha:	18-may-24	hb:	11.90 m.	H suelo:	1.60 m.
Hora inicio:	18:48	ht:	14.10 m.	γ_{suelo} :	1500 kg/cm ³
Hora fin:	19:48	Tramo (l):	1.20 m.	H roca:	11.90 m.
hp:	1.00 m.	RQD:	100%	γ_{roca} :	1630 kg/cm ³
hm:	0.50 m.	a (m):	2.37 m.	γ_{agua} :	1000 kg/cm ³



Presión de inflado del packer = Pp

a: Altura sobresaliente de la tubería = 2.37 m
 hb: Profundidad de la broca = 11.9 m
 hp: Longitud del packer en roca = 1.0 m
 Pw: Presión de trabajo del packer = 200.0 psi
 Ph: Presión hidrostática del packer = 22.142 psi

convertir 1m = 1.45psi
 $P_p = 266.6 \text{ psi} = 18.4 \text{ Bar}$

Maxima presión admisible = Pmax

hs: Profundidad del suelo perforado = 1.60 m
 hr: Profundidad de la roca perforada = 11.90 m
 ha: Nivel freático = seco m
 Δh : sobre carga hidráulica = 14.00 m
 $\Delta h = h_m + h_t - l/2$ para pozo seco
 $\Delta h = h_m + h_a$ para pozo con NF

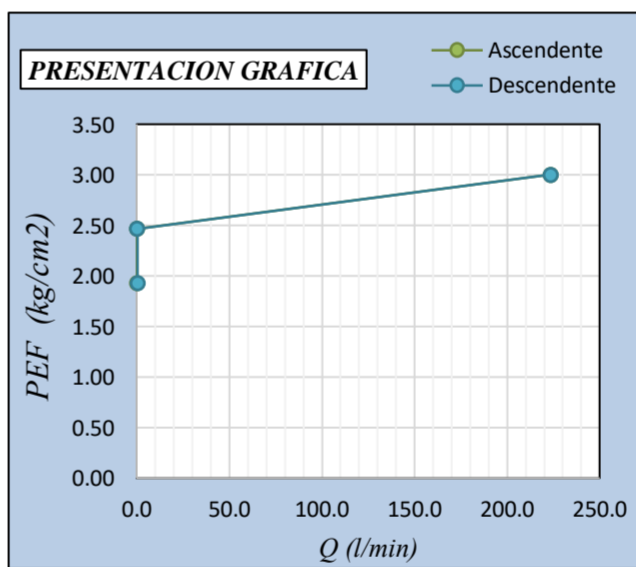
$\sigma_t = 21797 \text{ kg/cm}^2$ $\sigma' = 21797 \text{ kg/cm}^2$ $P_{max} = 21797 \text{ kg/cm}^2$
 $U = 0 \text{ kg/cm}^2$ $H_g = 14000 \text{ kg/cm}^2$ $P_{max} = 31.0 \text{ psi} = 2.1 \text{ Bar}$

RQD ≥ 75% $P_1 = P_5 = 0.25 * P_{mc}$ RQD < 75% $P_1 = P_5 = 0.20 * P_{mc}$ **P1 = 7.8 psi = 0.5 Bar**
 $P_2 = P_4 = 0.50 * P_{max}$ $P_2 = P_4 = 0.40 * P_{mc}$ **P2 = 15.5 psi = 1.1 Bar**
 $P_3 = 0.75 * P_{max}$ $P_3 = 0.60 * P_{mc}$ **P3 = 23.3 psi = 1.6 Bar**

tiempo en min	P1 7.8 psi / 0.5 Bar		P2 15.5 psi / 1.1 Bar		P3 23.3 psi / 1.6 Bar		P4 15.5 psi / 1.1 Bar		P5 7.8 psi / 0.5 Bar	
	lectura de caudal	Q (l/min)	lectura de caudal	Q (l/min)	lectura de caudal	Q (l/min)	lectura de caudal	Q (l/min)	lectura de caudal	Q (l/min)
0	695.00	0.00	699.00	0.00	701.00	0.00	3386.00	0.00	3390.00	0.00
1	695.00	0.00	699.00	0.00	701.00	0.00	3386.00	0.00	3390.00	0.00
2	696.00	1.00	699.00	0.00	701.00	0.00	3386.00	0.00	3391.00	1.00
3	696.00	0.00	699.00	0.00	701.00	0.00	3387.00	1.00	3391.00	0.00
4	696.00	0.00	699.00	0.00	701.00	0.00	3387.00	0.00	3391.00	0.00
5	696.00	0.00	700.00	1.00	3383.00	#####	3388.00	1.00	3391.00	0.00
6	696.00	0.00	700.00	0.00	3384.00	1.00	3388.00	0.00	3394.00	3.00
7	696.00	0.00	700.00	0.00	3384.00	0.00	3389.00	1.00	3394.00	0.00
8	697.00	1.00	700.00	0.00	3385.00	1.00	3389.00	0.00	3394.00	0.00
9	697.00	0.00	700.00	0.00	3385.00	0.00	3389.00	0.00	3395.00	1.00
10	697.00	0.00	701.00	1.00	3386.00	1.00	3390.00	1.00	3395.00	0.00
11										
12										
13										
14										
15										

qt (l/min)	2.00	2.00	2685.00	4.00	5.00
q (l/min)	0.20	0.20	268.50	0.40	0.50
Q (l/min/m)	0.17	0.17	223.75	0.33	0.42
Δp (kg/cm ²)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
CH (Δh/10)	1.40	1.40	1.40	1.40	1.40
PEF (kg/cm ²)	1.93	2.47	3.00	2.47	1.93
UL (PEF/Q)	0.86	0.68	744.94	1.35	2.15

1 UL



Notas importantes:

- presión máxima permisible no debe superar 3.28psi/m
- No se tomo en cuenta la presión de poros
- Se recomienda que el tramo de ensayo no debe de ser mayor de 5metros
- Cuando el taladro esta inclinado se debe de corregir las alturas según: Hsen(α)
- El incremento de la presión depende del RQD
- La prueba se desarrolla para rocas con RQD > 60%
- Esperar a que el caudal alcance un equilibrio constante antes de tomar lecturas
- Calibrara el caudalímetro antes de usar
- Cuando el taladro esta saturado desde el inicio ha = 0.0m.

$PEF = (PM - \Delta p) + CH$

clasificación del valor de Lugeon representativo (Houlsby 1976)

0 - 1 UL Muy Favorable
 1 - 3 UL Favorable
 3 - 10 UL Desfavorable
 > 10 UL Muy Desfavorable

Shimizu (1985)

Tipo de Flujo:	Dilatación
Unidad de Lugeon:	0.7 UL
Permeabilidad:	1.73E-05 cm/s
Condición:	Muy Favorable

NOTA:

V°B° CONTRATISTA
Nombre:

V°B° COMPAÑIA
Nombre:

ENSAYO DE PERMEABILIDAD TIPO LUGEON

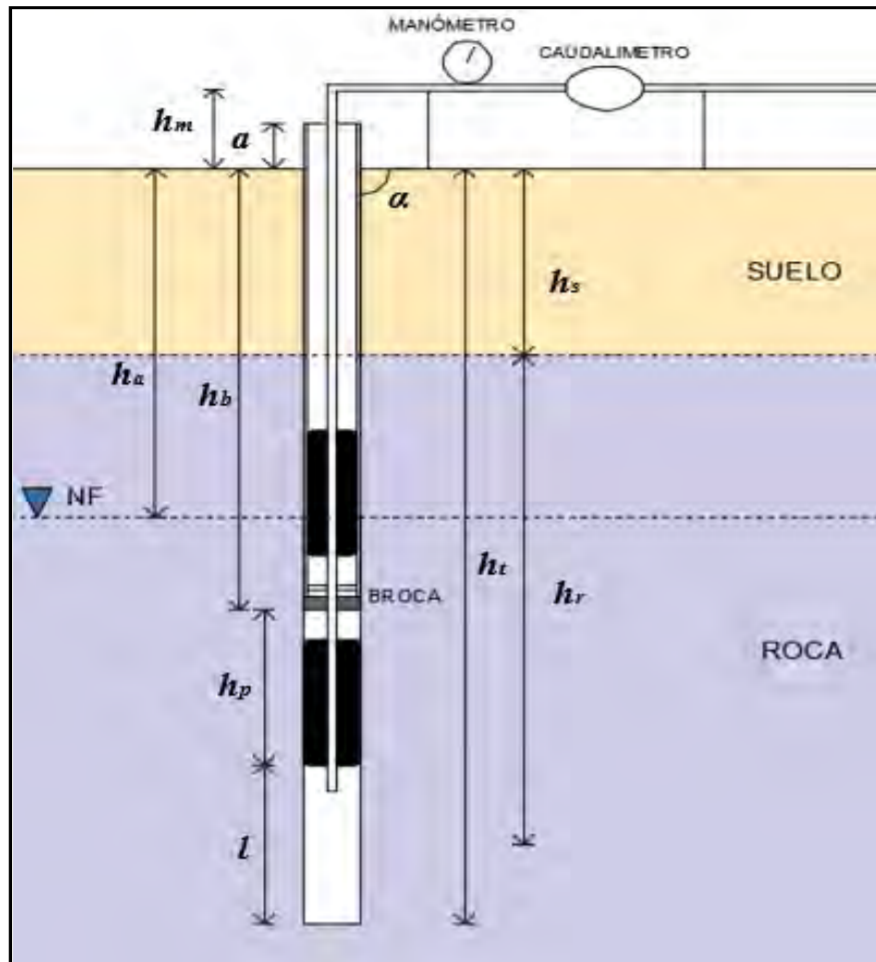
CODIGO DE PRUEBA: **DHPH04-LUGEON 04**

Proyecto: "MEJORAMIENTO Y AMPLIACIÓN DEL SERVICIO DE AGUA POTABLE Y SANEAMIENTO DE LA CIUDAD DE ESPINAR, DISTRITO DE ESPINAR, PROVINCIA DE ESPINAR – CUSCO"
Ubicación: LOCALIDAD HUAYLLUMAYO

DATOS DEL TALADRO			
Taladro:	DHPH-04	Ubicación:	P.HUAYLLUMAYO
Norte:	8349485	Inclinación:	90°
Este:	236033	Diametro:	11.10 cm.
Elevación:	4042 m.s.n.m.	NF:	seco

Nota: si no se encontro NF colocar seco

DATOS DEL ENSAYO			
Fecha:	19-may-24	hb:	17.90 m.
Hora inicio:	09:10	ht:	19.90 m.
Hora fin:	10:20	Tramo (l):	1.00 m.
hp:	1.00 m.	RQD:	100%
hm:	0.50 m.	a (m):	2.40 m.



Presión de inflado del packer = Pp

a: Altura sobresaliente de la tubería = 2.40 m
 hb: Profundidad de la broca = 17.9 m
 hp: Longitud del packer en roca = 1.0 m
 Pw: Presión de trabajo del packer = 200.0 psi
 Ph: Presión hidrostática del packer = 30.885 psi

convertir 1m = 1.45psi
 $P_p = 277.1 \text{ psi} = 19.1 \text{ Bar}$

Maxima presión admisible = Pmax

hs: Profundidad del suelo perforado = 1.60 m
 hr: Profundidad de la roca perforada = 17.80 m
 ha: Nivel freático = seco m
 Δh : sobre carga hidráulica = 19.90 m
 $\Delta h = hm + ht - l/2$ para pozo seco
 $\Delta h = hm + ha$ para pozo con NF

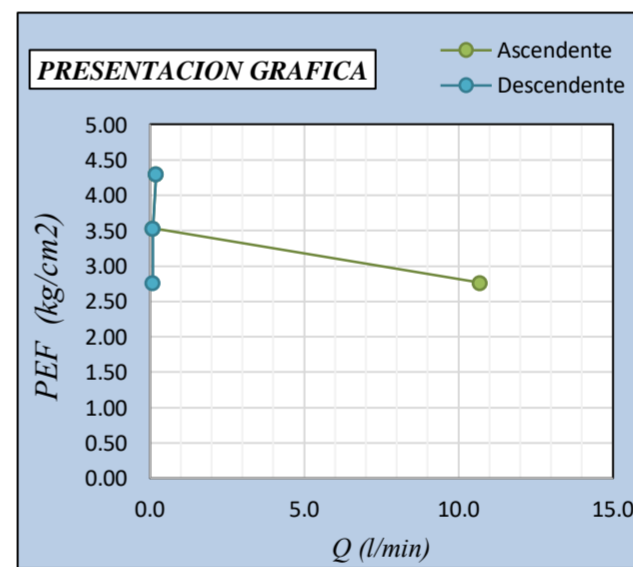
$\sigma_t = 31414 \text{ kg/cm}^2$ $\sigma' = 31414 \text{ kg/cm}^2$ $P_{max} = 31414 \text{ kg/cm}^2$
 $U = 0 \text{ kg/cm}^2$ $H_g = 19900 \text{ kg/cm}^2$ $P_{max} = 44.7 \text{ psi} = 3.1 \text{ Bar}$

RQD ≥ 75% $P_1 = P_5 = 0.25 * P_{mc}$ RQD < 75% $P_1 = P_5 = 0.20 * P_{mc}$ $P_1 = 11.2 \text{ psi} = 0.8 \text{ Bar}$
 $P_2 = P_4 = 0.50 * P_{max}$ $P_2 = P_4 = 0.40 * P_{mc}$ $P_2 = 22.3 \text{ psi} = 1.5 \text{ Bar}$
 $P_3 = 0.75 * P_{max}$ $P_3 = 0.60 * P_{mc}$ $P_3 = 33.5 \text{ psi} = 2.3 \text{ Bar}$

tiempo en min	P1 11.2 psi / 0.8 Bar		P2 22.3 psi / 1.5 Bar		P3 33.5 psi / 2.3 Bar		P4 22.3 psi / 1.5 Bar		P5 11.2 psi / 0.8 Bar	
	lectura de caudal	Q (l/min)	lectura de caudal	Q (l/min)	lectura de caudal	Q (l/min)	lectura de caudal	Q (l/min)	lectura de caudal	Q (l/min)
0	2221.00		2328.00		2330.00		2332.00		2333.00	
1	2272.00	51.00	2328.00	0.00	2330.00	0.00	2332.00	0.00	2333.00	0.00
2	2320.00	48.00	2328.00	0.00	2330.00	0.00	2332.00	0.00	2333.00	0.00
3	2327.00	7.00	2328.00	0.00	2330.00	0.00	2333.00	1.00	2333.00	0.00
4	2327.00	0.00	2328.00	0.00	2330.00	0.00	2333.00	0.00	2333.00	0.00
5	2328.00	1.00	2328.00	0.00	2331.00	1.00	2333.00	0.00	2334.00	1.00
6	2328.00	0.00	2328.00	0.00	2331.00	0.00	2333.00	0.00	2334.00	0.00
7	2328.00	0.00	2329.00	1.00	2331.00	0.00	2333.00	0.00	2334.00	0.00
8	2328.00	0.00	2329.00	0.00	2331.00	0.00	2333.00	0.00	2334.00	0.00
9	2328.00	0.00	2329.00	0.00	2331.00	0.00	2333.00	0.00	2334.00	0.00
10	2328.00	0.00	2329.00	0.00	2332.00	1.00	2333.00	0.00	2334.00	0.00
11										
12										
13										
14										
15										

qt (l/min)	107.00	1.00	2.00	1.00	1.00
q (l/min)	10.70	0.10	0.20	0.10	0.10
Q (l/min/m)	10.70	0.10	0.20	0.10	0.10
Δp (kg/cm²)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
CH (Δh/10)	1.99	1.99	1.99	1.99	1.99
PEF (kg/cm²)	2.76	3.53	4.30	3.53	2.76
UL (PEF/Q)	38.76	0.28	0.46	0.28	0.36

1 UL



Notas importantes:

- presión máxima permisible no debe superar 3.28psi/m
- No se tomo en cuenta la presión de poros
- Se recomienda que el tramo de ensayo no debe de ser mayor de 5metros
- Cuando el taladro esta inclinado se debe de corregir las alturas según: Hsen(α)
- El incremento de la presión depende del RQD
- La prueba se desarrolla para rocas con RQD > 60%
- Esperar a que el caudal alcance un equilibrio constante antes de tomar lecturas
- Calibrara el caudalímetro antes de usar
- Cuando el taladro esta saturado desde el inicio ha = 0.0m.

$PEF = (PM - \Delta p) + CH$

clasificación del valor de Lugeon representativo (Houlsby 1976)

0 - 1 UL	Muy Favorable
1 - 3 UL	Favorable
3 - 10 UL	Desfavorable
> 10 UL	Muy Desfavorable

Shimizu (1985)

Tipo de Flujo:	Relleno
Unidad de Lugeon:	0.3 UL
Permeabilidad:	6.82E-06 cm/s
Condición:	Muy Favorable

NOTA:

V°B° CONTRATISTA

Nombre:

V°B° COMPAÑIA

Nombre:

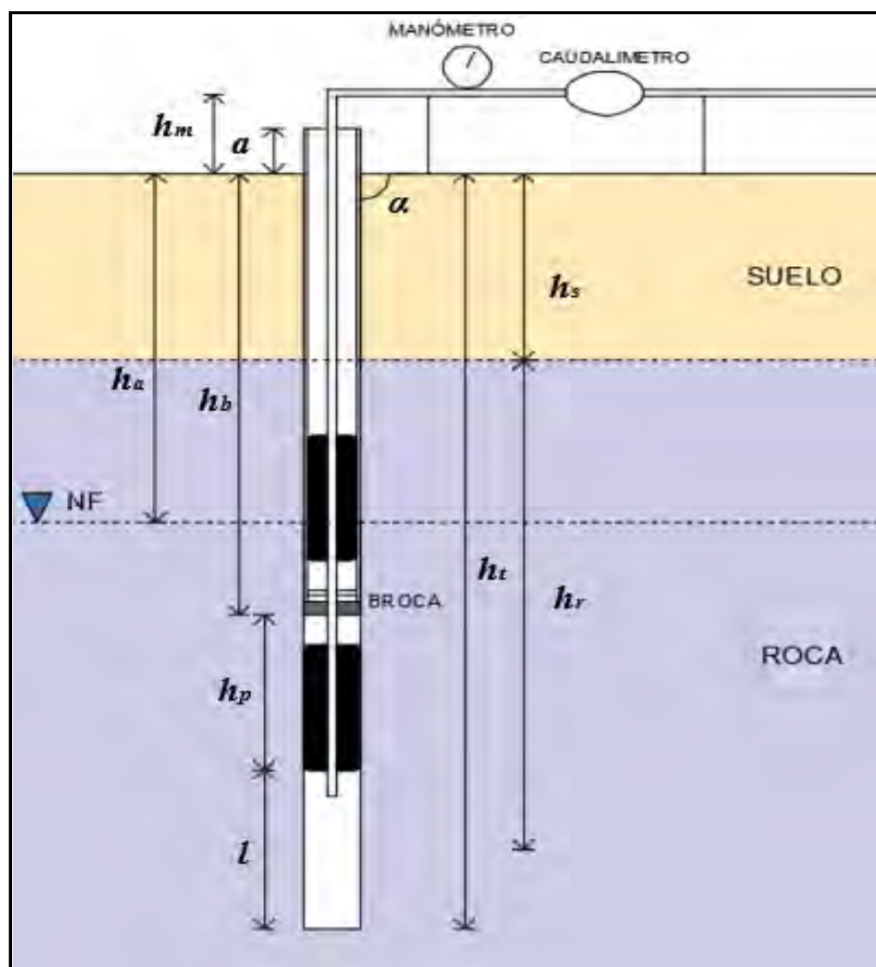
ENSAYO DE PERMEABILIDAD TIPO LUGEON
CODIGO DE PRUEBA: DHPH04-LUGEON 05

Proyecto:	"MEJORAMIENTO Y AMPLIACIÓN DEL SERVICIO DE AGUA POTABLE Y SANEAMIENTO DE LA CIUDAD DE ESPINAR, DISTRITO DE ESPINAR, PROVINCIA DE ESPINAR – CUSCO"
Ubicación:	LOCALIDAD HUAYLLUMAYO

DATOS DEL TALADRO			
Taladro:	DHPH-04	Ubicación:	P.HUAYLLUMAYO
Norte:	8349485	Inclinación:	90°
Este:	236033	Diametro :	11.10 cm.
Elevación:	4042 m.s.n.m.	NF :	13.30 m.

Nota: si no se encontro NF colocar seco

DATOS DEL ENSAYO					
Fecha:	19-may-24	hb:	23.00 m.	H suelo:	1.60 m.
Hora inicio:	12:14	ht:	25.00 m.	γsuelo:	1500 kg/cm ³
Hora fin:	13:20	Tramo (l):	1.00 m.	H roca:	22.90 m.
hp :	1.00 m.	RQD:	100%	γroca:	1630 kg/cm ³
hm :	0.50 m.	a (m):	2.60 m.	γagua:	1000 kg/cm ³



Presión de inflado del packer = Pp

a: Altura sobresaliente de la tubería = 2.60 m
 hb: Profundidad de la broca = 23.0 m
 hp: Longitud del packer en roca = 1.0 m
 Pw: Presión de trabajo del packer = 200.0 psi
 Ph: Presión hidrostática del packer = 38.57 psi

convertir 1m = 1.45psi
 $P_p = 286.3 \text{ psi} = 19.7 \text{ Bar}$

Maxima presión admisible = Pmax

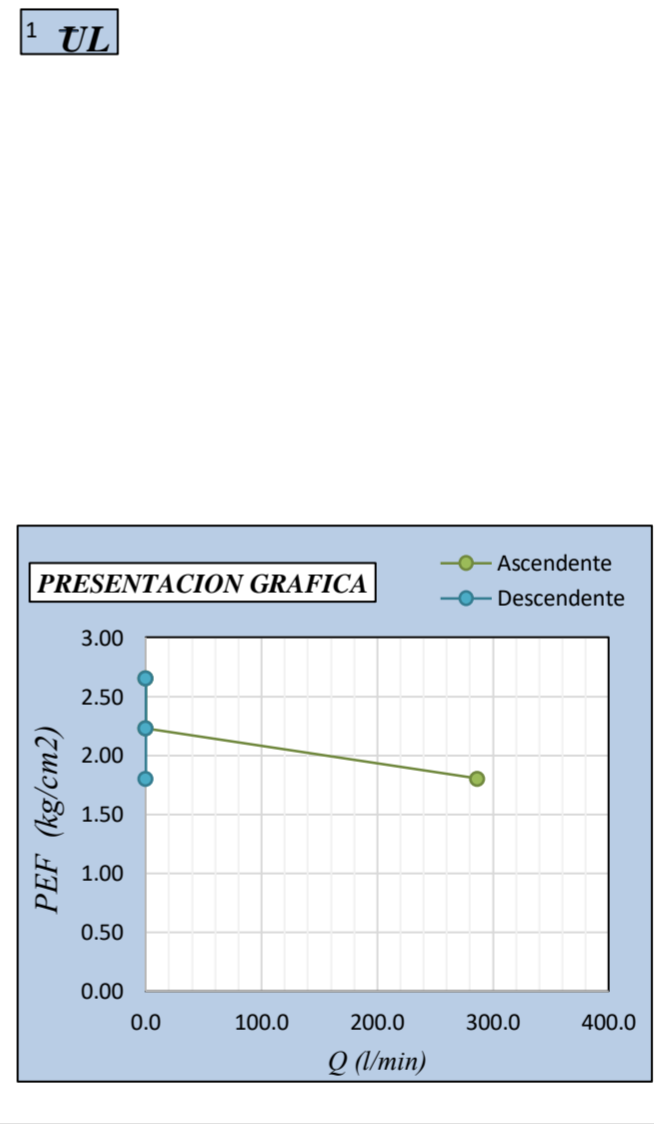
hs: Profundidad del suelo perforado = 1.60 m
 hr: Profundidad de la roca perforada = 22.90 m
 ha: Nivel freático = 13.30 m
 Δh: sobre carga hidráulica = 13.80 m
 Δh = hm+ht-l/2 para pozo seco
 Δh = hm+ha para pozo con NF

σt = 39727 kg/cm² σ' = 28527 kg/cm² Pmax = 17327 kg/cm²
 U = 11200 kg/cm² Hg = 13800 kg/cm² Pmax = 24.6 psi = 1.7 Bar

RQD ≥ 75% P1=P5 = 0.25*Pmc RQD < 75% P1=P5 = 0.20*Pmc P1 = 6.2 psi = 0.4 Bar
 P2=P4 = 0.50*Pmax P2=P4 = 0.40*Pmc P2 = 12.3 psi = 0.8 Bar
 P3 = 0.75*Pmax P3 = 0.60*Pmc P3 = 18.5 psi = 1.3 Bar

tiempo en min	P1 6.2 psi / 0.4 Bar		P2 12.3 psi / 0.8 Bar		P3 18.5 psi / 1.3 Bar		P4 12.3 psi / 0.8 Bar		P5 6.2 psi / 0.4 Bar	
	lectura de caudal	Q (l/min)	lectura de caudal	Q (l/min)	lectura de caudal	Q (l/min)	lectura de caudal	Q (l/min)	lectura de caudal	Q (l/min)
0	6600.00									
1	6920.00	320.00		0.00		0.00		0.00		0.00
2	7157.00	237.00		0.00		0.00		0.00		0.00
3	7369.00	212.00		0.00		0.00		0.00		0.00
4	7684.00	315.00		0.00		0.00		0.00		0.00
5	7993.00	309.00		0.00		0.00		0.00		0.00
6	8213.00	220.00		0.00		0.00		0.00		0.00
7	8615.00	402.00		0.00		0.00		0.00		0.00
8	8915.00	300.00		0.00		0.00		0.00		0.00
9	9148.00	233.00		0.00		0.00		0.00		0.00
10	9464.00	316.00		0.00		0.00		0.00		0.00
11										
12										
13										
14										
15										

qt (l/min)	2864.00	0.00	0.00	0.00	0.00
q (l/min)	286.40	0.00	0.00	0.00	0.00
Q (l/min/m)	286.40	0.00	0.00	0.00	0.00
Δp (kg/cm ²)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
CH (Δh/10)	1.38	1.38	1.38	1.38	1.38
PEF (kg/cm ²)	1.80	2.23	2.65	2.23	1.80
UL (PEF/Q)	1586.78	0.00	0.00	0.00	0.00



Notas importantes:

1. presión máxima permisible no debe superar 3.28psi/m
2. No se tomo en cuenta la presión de poros
3. Se recomienda que el tramo de ensayo no debe de ser mayor de 5metros
4. Cuando el taladro esta inclinado se debe de correguir las alturas según: Hsen(α)
5. El incremento de la presión depende del RQD
6. La prueba se desarrolla para rocas con RQD > 60%
7. Esperar a que el caudal alcance un equilibrio constante antes de tomar lecturas
8. Calibrara el caudalímetro antes de usar
9. Cuando el taladro esta saturado desde el inicio ha = 0.0m.

$PEF = (PM - \Delta p) + CH$

clasificación del valor de Lugeon representativo (Houlsby 1976)

0 - 1 UL Muy Favorable
 1 - 3 UL Favorable
 3 - 10 UL Desfavorable
 > 10 UL Muy Desfavorable

Shimizu (1985)

Tipo de Flujo:	Relleno
Unidad de Lugeon:	0.0 UL
Permeabilidad:	0.00E+00 cm/s
Condición:	Muy desfavorable

NOTA: La permeabilidad es mayor a 2.6E-02cm/s, el caudal constante de la bomba del equipo de perforacion es de 286.4 l/min, por lo tanto el consumo es mayo.

V°B° CONTRATISTA

Nombre:

V°B° COMPAÑIA

Nombre:

ENSAYO DE PERMEABILIDAD TIPO LUGEON

CODIGO DE PRUEBA: **DHPH04-LUGEON 06**

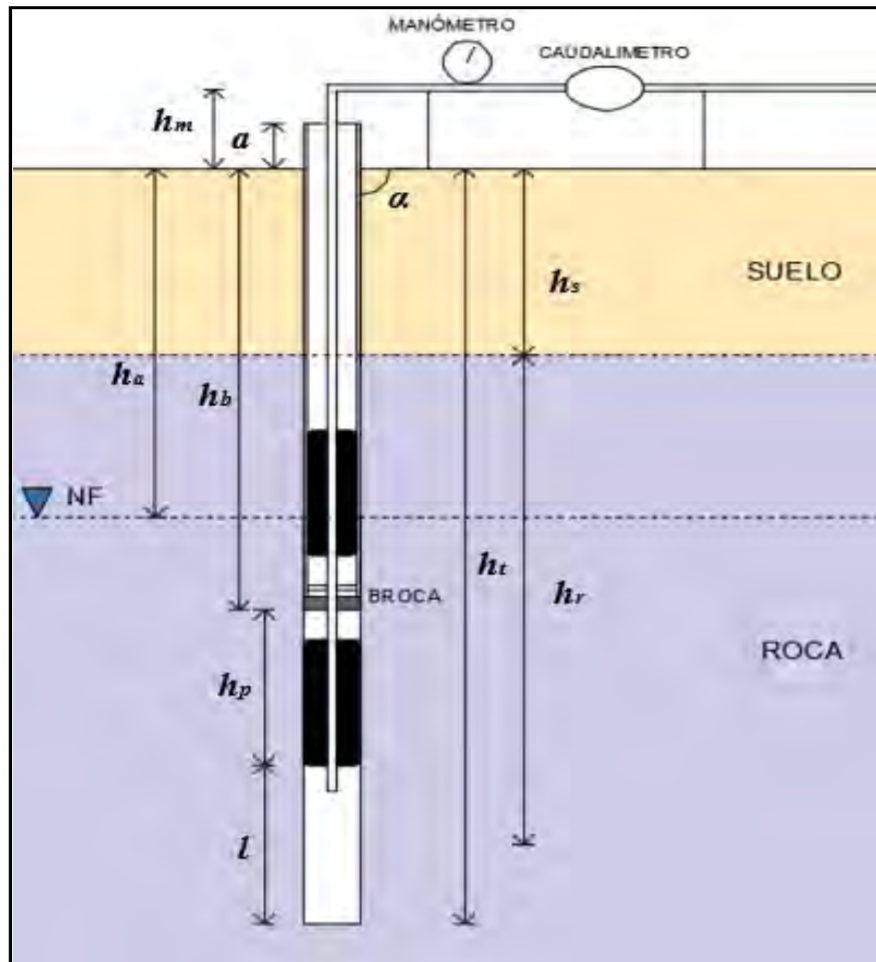
Proyecto: "MEJORAMIENTO Y AMPLIACIÓN DEL SERVICIO DE AGUA POTABLE Y SANEAMIENTO DE LA CIUDAD DE ESPINAR, DISTRITO DE ESPINAR, PROVINCIA DE ESPINAR – CUSCO"

Ubicación: LOCALIDAD HUAYLLUMAYO

DATOS DEL TALADRO			
Taladro:	DHPH-04	Ubicación:	P.HUAYLLUMAYO
Norte:	8349485	Inclinación:	90°
Este:	236033	Diametro :	11.10 cm.
Elevación:	4042 m.s.n.m.	NF:	13.30 m.

Nota: si no se encontro NF colocar seco

DATOS DEL ENSAYO					
Fecha:	19-may-24	hb:	26.80 m.	H suelo:	1.60 m.
Hora inicio:	12:05	ht:	28.80 m.	γsuelo:	1500 kg/cm ³
Hora fin:	12:30	Tramo (l):	1.00 m.	H roca:	26.70 m.
hp :	1.00 m.	RQD:	100%	γroca:	1630 kg/cm ³
hm :	0.50 m.	a (m):	2.50 m.	γagua:	1000 kg/cm ³



Presión de inflado del packer = Pp

a: Altura sobresaliente de la tubería = 2.50 m
 hb: Profundidad de la broca = 26.8 m
 hp: Longitud del packer en roca = 1.0 m
 Pw: Presión de trabajo del packer = 200.0 psi
 Ph: Presión hidrostática del packer = 43.935 psi

convertir 1m = 1.45psi
 $P_p = 292.7 \text{ psi} = 20.2 \text{ Bar}$

Maxima presión admisible = Pmax

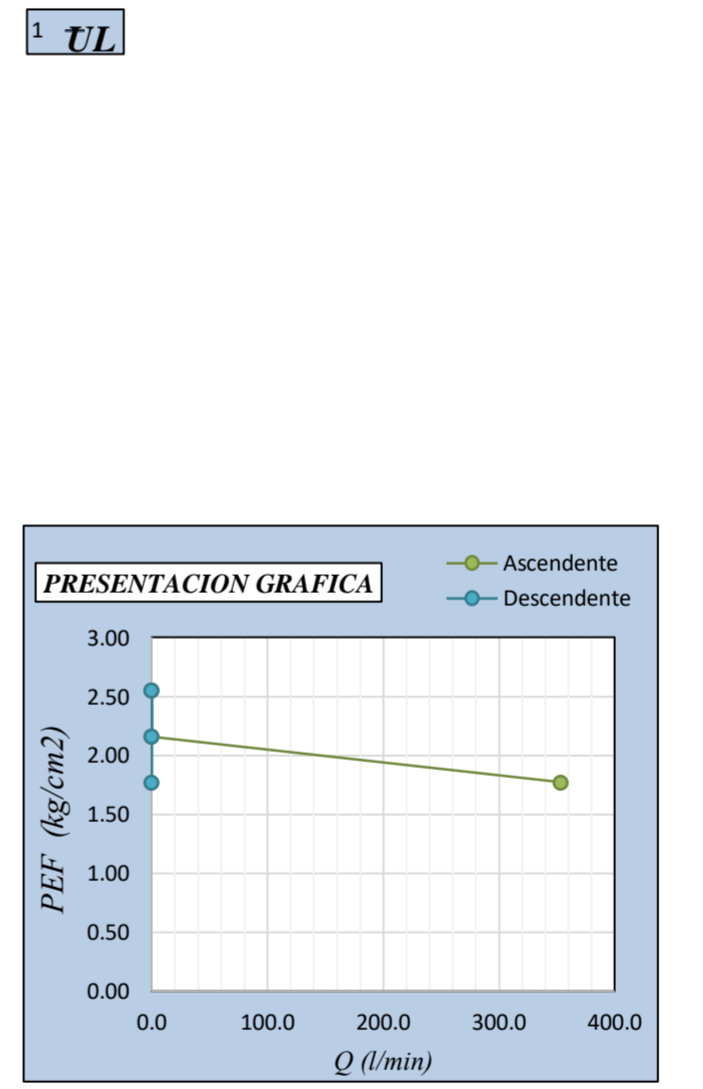
hs: Profundidad del suelo perforado = 1.60 m
 hr: Profundidad de la roca perforada = 26.70 m
 ha: Nivel freático = 13.30 m
 Δh: sobre carga hidráulica = 13.80 m
 Δh = hm+ht-l/2 para pozo seco
 Δh = hm+ha para pozo con NF

$\sigma_t = 45921 \text{ kg/cm}^2$ $\sigma' = 30921 \text{ kg/cm}^2$ $P_{max} = 15921 \text{ kg/cm}^2$
 $U = 15000 \text{ kg/cm}^2$ $H_g = 13800 \text{ kg/cm}^2$ $P_{max} = 22.6 \text{ psi} = 1.6 \text{ Bar}$

RQD ≥ 75% $P_1 = P_5 = 0.25 * P_{mc}$ RQD < 75% $P_1 = P_5 = 0.20 * P_{mc}$ $P_1 = 5.7 \text{ psi} = 0.4 \text{ Bar}$
 $P_2 = P_4 = 0.50 * P_{max}$ $P_2 = P_4 = 0.40 * P_{mc}$ $P_2 = 11.3 \text{ psi} = 0.8 \text{ Bar}$
 $P_3 = 0.75 * P_{max}$ $P_3 = 0.60 * P_{max}$ $P_3 = 17.0 \text{ psi} = 1.2 \text{ Bar}$

tiempo en min	P1		P2		P3		P4		P5	
	lectura de caudal	Q (l/min)	lectura de caudal	Q (l/min)	lectura de caudal	Q (l/min)	lectura de caudal	Q (l/min)	lectura de caudal	Q (l/min)
0	4040.00	450.00		0.00		0.00		0.00		0.00
1	4490.00	340.00		0.00		0.00		0.00		0.00
2	4830.00	350.00		0.00		0.00		0.00		0.00
3	5180.00	340.00		0.00		0.00		0.00		0.00
4	5520.00	340.00		0.00		0.00		0.00		0.00
5	5860.00	340.00		0.00		0.00		0.00		0.00
6	6200.00	340.00		0.00		0.00		0.00		0.00
7	6550.00	340.00		0.00		0.00		0.00		0.00
8	6890.00	340.00		0.00		0.00		0.00		0.00
9	7230.00	340.00		0.00		0.00		0.00		0.00
10	7575.00	345.00		0.00		0.00		0.00		0.00
11										
12										
13										
14										
15										

qt (l/min)	3535.00	0.00	0.00	0.00	0.00
q (l/min)	353.50	0.00	0.00	0.00	0.00
Q (l/min/m)	353.50	0.00	0.00	0.00	0.00
Δp (kg/cm ²)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
CH (Δh/10)	1.38	1.38	1.38	1.38	1.38
PEF (kg/cm ²)	1.77	2.16	2.55	2.16	1.77
UL (PEF/Q)	1996.69	0.00	0.00	0.00	0.00



Notas importantes:

1. presión máxima permisible no debe superar 3.28psi/m
2. No se tomo en cuenta la presión de poros
3. Se recomienda que el tramo de ensayo no debe de ser mayor de 5metros
4. Cuando el taladro esta inclinado se debe de corregir las alturas según: Hsen(α)
5. El incremento de la presión depende del RQD
6. La prueba se desarrolla para rocas con RQD > 60%
7. Esperar a que el caudal alcance un equilibrio constante antes de tomar lecturas
8. Calibrar el caudalímetro antes de usar
9. Cuando el taladro esta saturado desde el inicio ha = 0.0m.

$PEF = (PM - \Delta p) + CH$

clasificación del valor de Lugeon representativo (Houlsby 1976)

0 - 1 UL Muy Favorable
 1 - 3 UL Favorable
 3 - 10 UL Desfavorable
 > 10 UL Muy Desfavorable

Shimizu (1985)

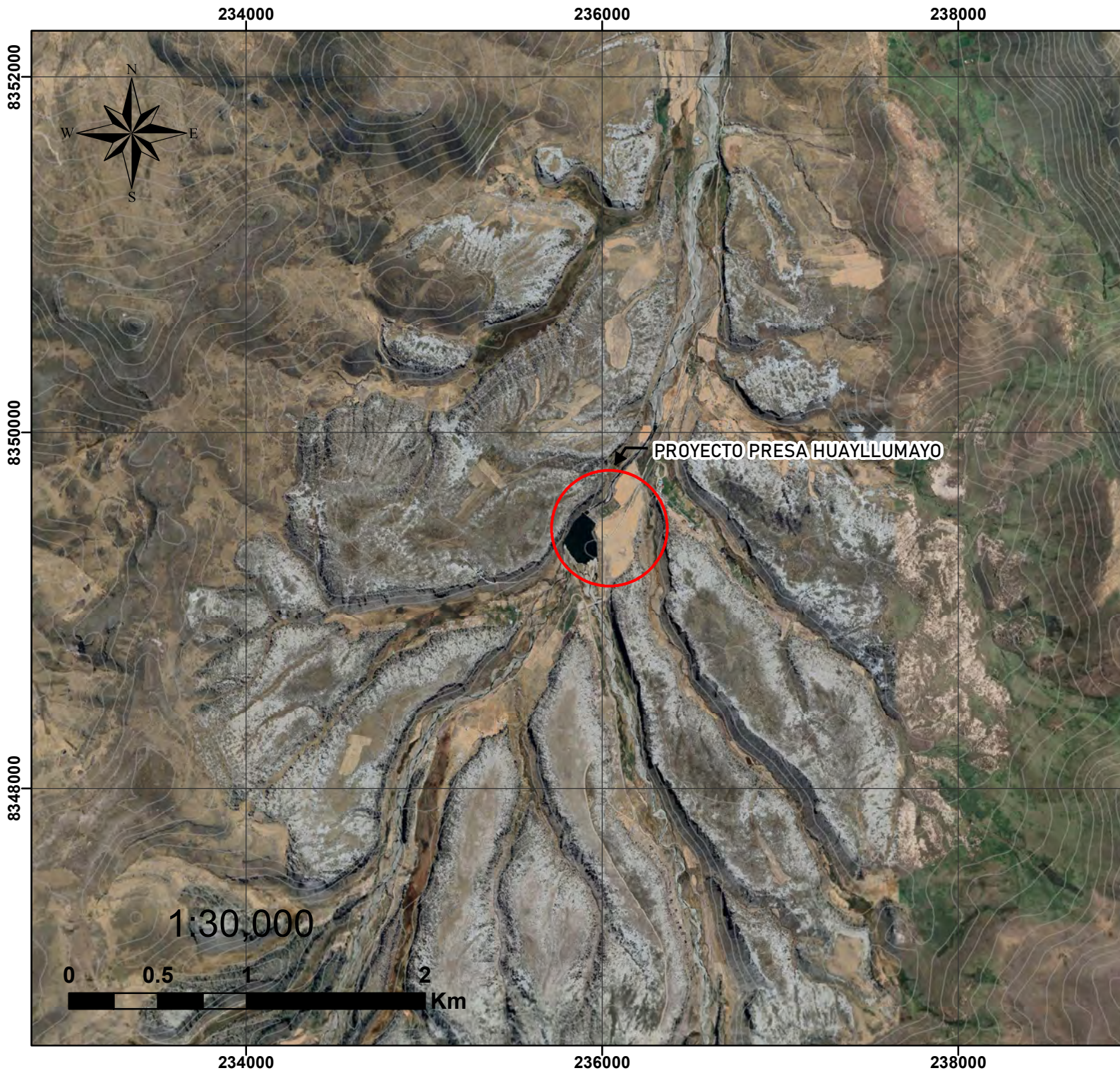
Tipo de Flujo:	Relleno
Unidad de Lugeon:	0.0 UL
Permeabilidad:	0.00E+00 cm/s
Condición:	Muy Desfavorable

NOTA: El caudal promedio de salida de la bomba de la maquina es de 353.5 l/min, por lo tanto el consumo de agua es mayor al caudal de la bomba

V°B° CONTRATISTA
Nombre:

V°B° COMPAÑIA
Nombre:

ANEXO E
SECCIONES Y MAPAS



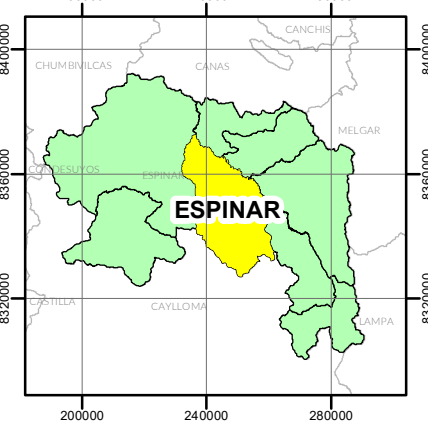
MAPA DE UBICACIÓN DEPARTAMENTAL
ESCALA: 1/50.978.616



MAPA DE UBICACIÓN PROVINCIAL
ESCALA: 1/10.000.000



MAPA DE UBICACIÓN DISTRITAL
ESCALA: 1/2.429.397

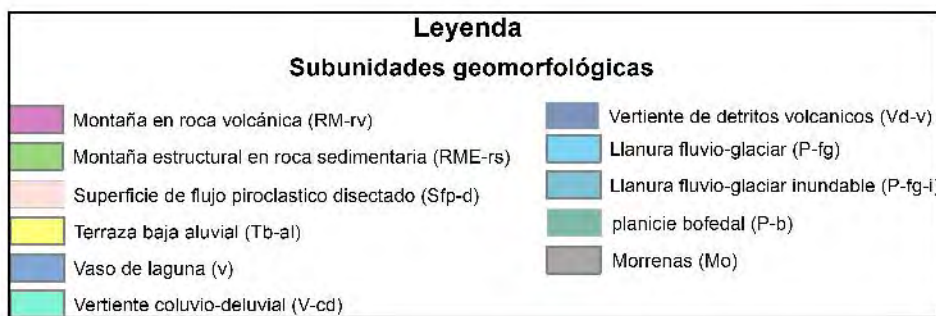
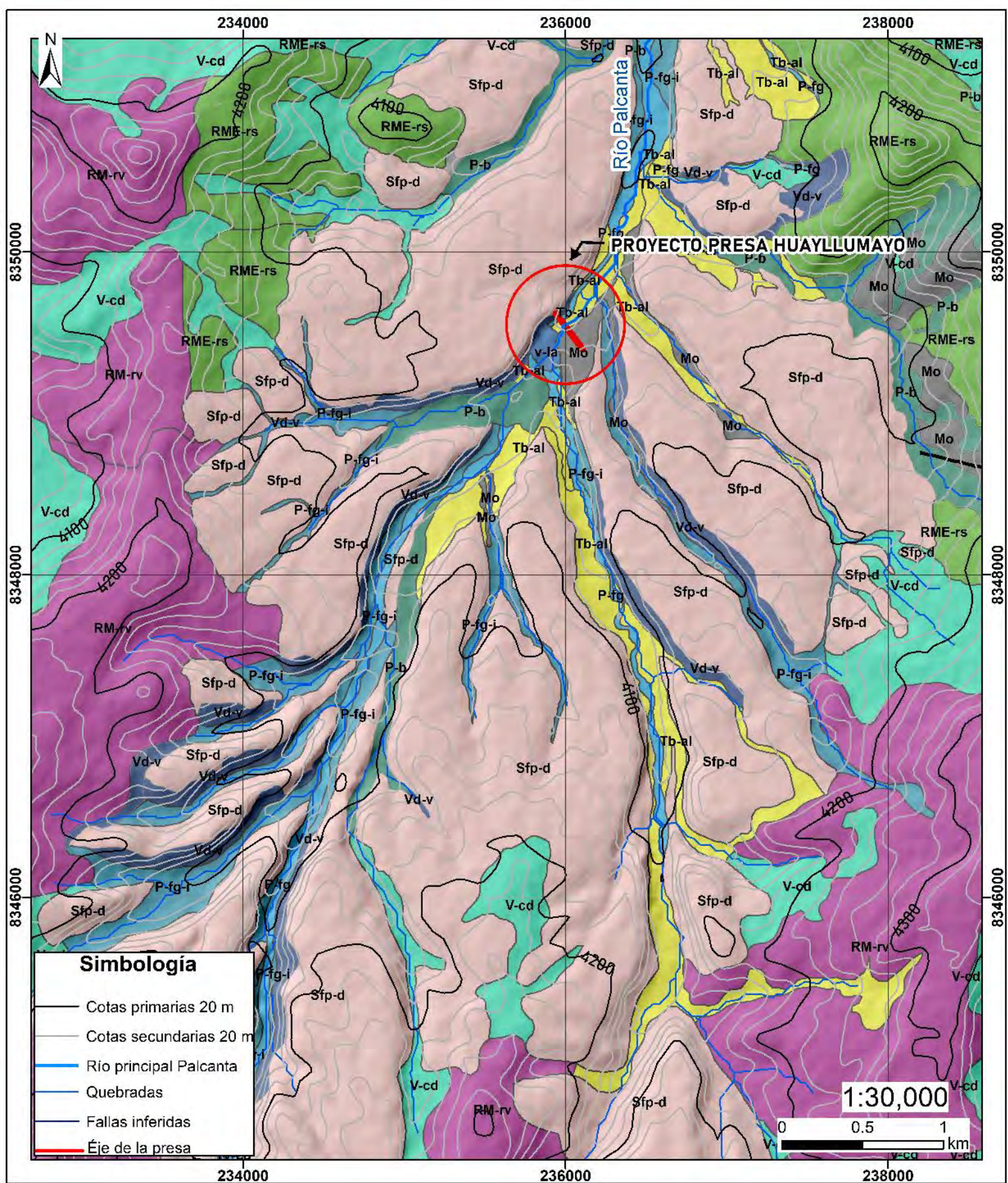


UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO
FACULTAD DE INGENIERIA GEOLOGICA, MINAS Y METALURGICA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA GEOLOGICA

TÍTULO:
EVALUACIÓN GEOLOGICA-GEOTÉCNICA DE FACTIBILIDAD PARA LA AMPLIACIÓN DE LA PRESA HUAYLLUMAYO MEDIANTE LA CONSTRUCCIÓN DE UN NUEVO EJE DE PRESA, DISTRITO Y UBICACIÓN

FECHA:
JUNIO - 2024

UBICACIÓN:	ASESOR:	FECHA:
DISTRITO: ESPINAR	Dr. Jessica Escalante Cordero	JUNIO - 2024
PROVINCIA: ESPINAR	ELABORADO POR:	TÍTULO:
REGION: CUSCO	Dr. ANGEL RODRIGO MISLÉN JANCIA PABLO	EVALUACIÓN GEOLOGICA-GEOTÉCNICA DE FACTIBILIDAD PARA LA AMPLIACIÓN DE LA PRESA HUAYLLUMAYO MEDIANTE LA CONSTRUCCIÓN DE UN NUEVO EJE DE PRESA, DISTRITO Y UBICACIÓN
PROYECCIÓN: UTM - WGS 84	Dr. JESUS GUSTAVO CARRERAS	UB-01
ESCALA: INDICADA		

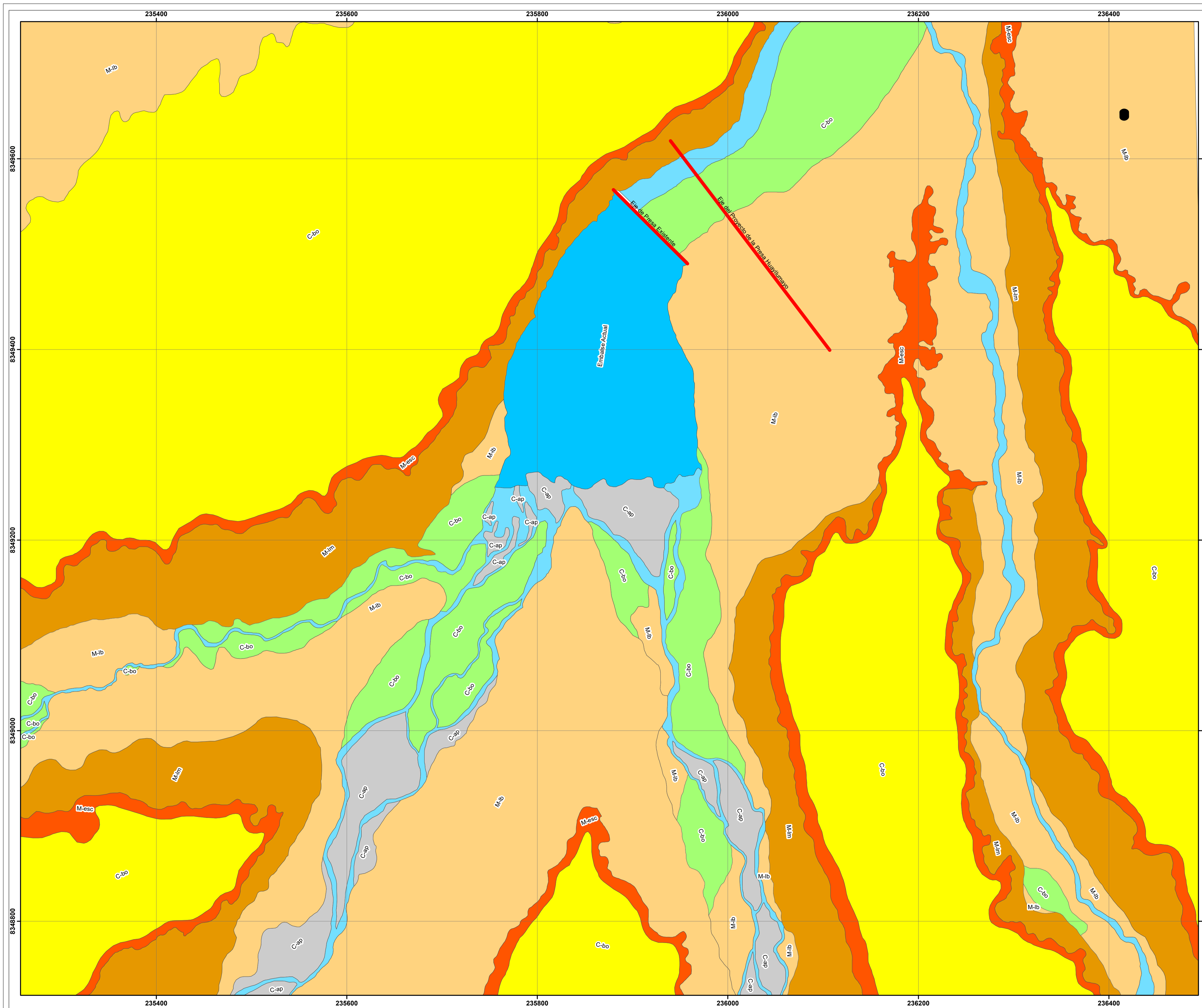


UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO
 FACULTAD DE INGENIERIA GEOLOGICA, MINAS Y METALURGICA
 ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA GEOLOGICA

TESIS:
 EVALUACION GEOLOGICA-GEOTECNICA DE FACTIBILIDAD PARA LA AMPLIACION DE LA PRESA HUAYLLUMAYO MEDIANTE LA CONSTRUCCION DE UN NUEVO EJE DE PRESA, DISTRITO Y

MAPA:
GEOMORFOLOGICO REGIONAL

UBICACION	ASESOR	FECHA
DISTRITO: ESPINAR	Dra. Josefina Escalante Gutierrez	JUNIO - 2024
PROVINCIA: ESPINAR	ELABORADO POR:	MAPA
REGION: CUSCO	Br. ANGEL RODRIGO MOLLEHUANCA PABLO	TES-02
PROYECCION: UTM - WGS 84	Br. JESUS QUISPE CARDENAS	
ESCALA: INDICADA		



LEYENDA

- Eje de Presa Huayllumayo
- Rio
- Embalse Actual de Presa Huayllumayo

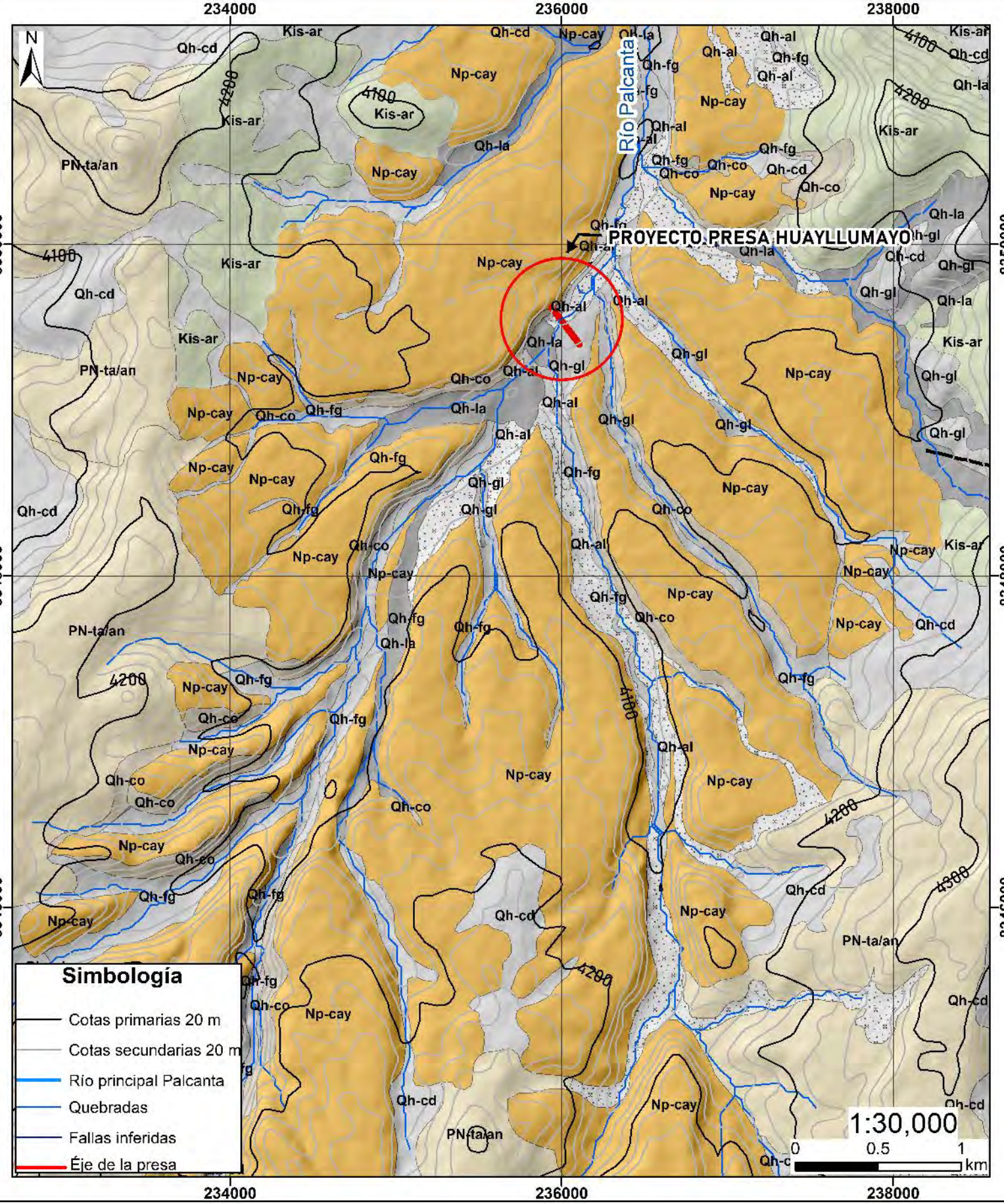
SISTEMA	UNIDADES GEOMORFOLÓGICAS	SUB UNIDADES	SÍMBOLO	ORIGEN	PENDIENTE (GRADOS)	UBICACIÓN	PROCESOS EROSIVOS
Sistema de Montañas	Laderas	Colinas	M-co	Cumbre de los cerros	pendiente Variable	Partes altas del vaso	Erosión
		Escarpos	M-ec	Formación natural	75-90	Toda el área de vaso y esp. de presa	Erosión laminar por escurrimiento superficial
		laderas Moderadas	M-lm	Denudacional	30-60	Toda el área de vaso	Erosión laminar por escurrimiento superficial
		laderas Bajas	M-lb	Denudacional	0-30	Toda el área de vaso	Erosión laminar por escurrimiento superficial
De curso	Fluvio Aluvial	Boledal	C-bo	Denudacional	0-5	Cause de río	Erosión fluvial
	Aluvial	Plenice de inundación	C-ap	Depositional	0-5	Cause de río	Erosión fluvial

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO
 FACULTAD DE INGENIERIA GEOLOGICA, MINAS Y METALURGICA
 ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA GEOLOGICA

TESIS:
EVALUACION GEOLOGICA-GEOTECNICA DE FACTIBILIDAD PARA LA AMPLIACION DE LA PRESA HUAYLLUMAYO MEDIANTE LA CONSTRUCCION DE UN NUEVO EJE DE PRESA, DISTRITO Y PROVINCIA DE ESPINAR, DEPARTAMENTO DE CUSCO-2024

MAPA:
GEOMORFOLOGICO LOCAL

UBICACION	ASESOR	FECHA
DISTRITO: ESPINAR	Dra. Josefina Escalante Gutierrez	JUNIO - 2024
PROVINCIA: ESPINAR	ELABORADO POR:	MAPA
REGION: CUSCO	Dr. ANGEL RODRIGO MOLLEHUANCA PABLO	TES-03
PROYECCION: UTM - WGS 84	Dr. JESUS QUISPE CARDENAS	
ESCALA: INDICADA		



Leyenda Geológico

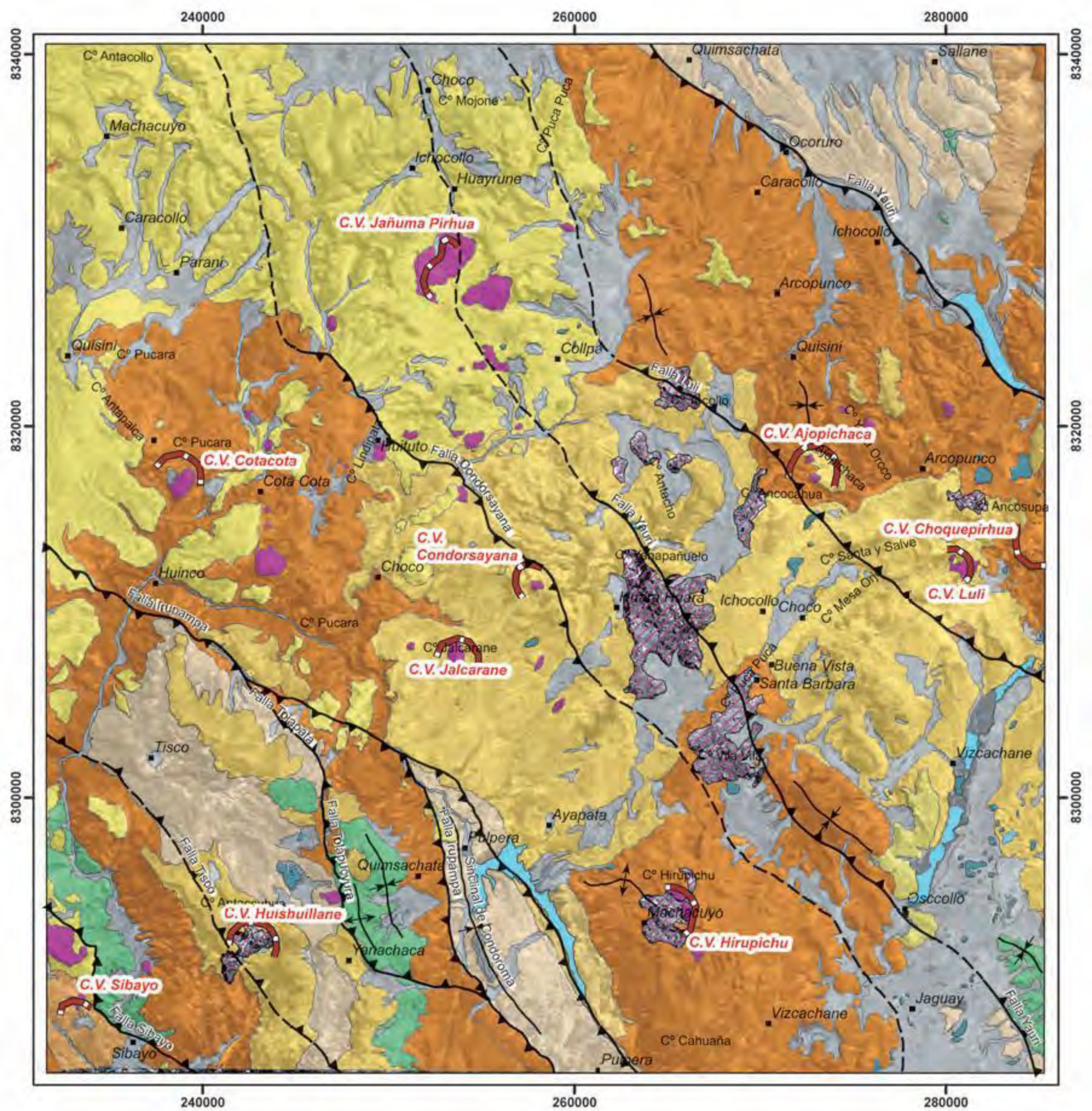
	Depósito aluvial (Qh-al)		Depósito lacustre (Qh-la)
	Depósito coluvial (Qh-co)		Fm Arcurquina - Calizas grises (Kis-ar)
	Depósito coluvio-deluvial (Qh-cd)		Gpo. Barroso - Caldera Caylloma (Np-cay)
	Depósito fluvio glaciario (Qh-fg)		Grupo Tacaza - Andesitas (Np-ta/an)
	Depósito glaciario (Qh-gl)		

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO
 FACULTAD DE INGENIERIA GEOLOGICA, MINAS Y METALURGICA
 ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA GEOLOGICA

TESIS:
 EVALUACION GEOLÓGICA-GEOTÉCNICA DE FACTIBILIDAD PARA LA AMPLIACION DE LA PRESA HUAYLLUMAYO MEDIANTE LA CONSTRUCCION DE UN NUEVO EJE DE PRESA, DISTRITO Y PROVINCIA DE ESPINAR, DEPARTAMENTO DE CUSCO-2024

MAPA:
GEOLÓGICO REGIONAL

UBICACION	ASESOR	FECHA
DISTRITO: ESPINAR	Dra. Josefina Escalante Gutierrez	JUNIO - 2024
PROVINCIA: ESPINAR	ELABORADO POR:	MAPA
REGIÓN: CUSCO	Br. ANGEL RODRIGO MOLLEHUANCA PABLO	TES-04
PROYECCIÓN: UTM - WGS 84	Br. JESUS QUISPE CARDENAS	
ESCALA: INDICADA		

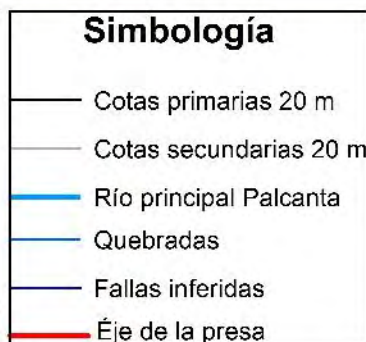
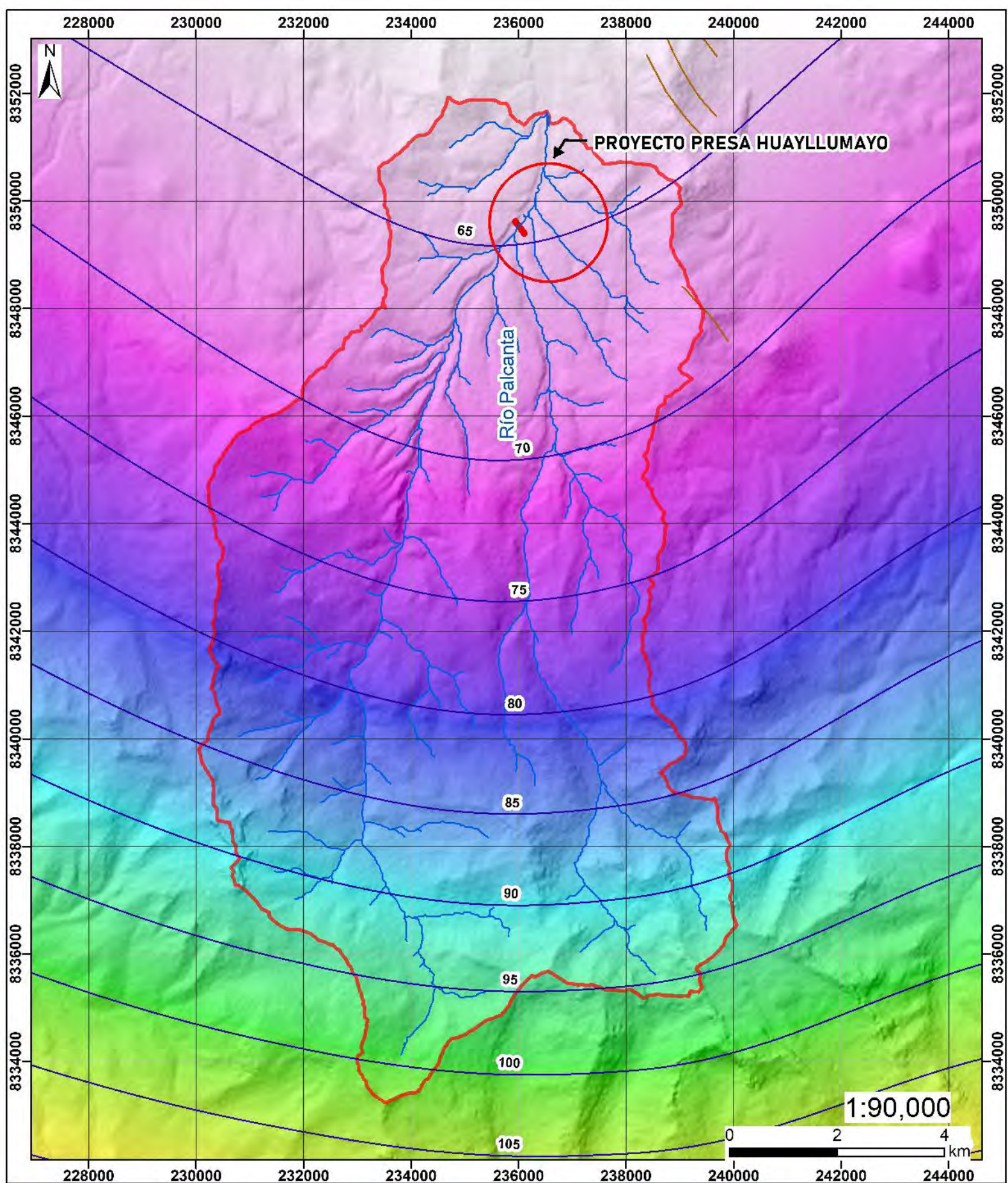


Simbología

<ul style="list-style-type: none"> Centro de emisión Centros Poblados Laguna Rio Quebrada Alteraciones hidrotermales 	<ul style="list-style-type: none"> Falla inversa Falla inversa inferida Falla inferida Anticlinal Sinclinal
--	---

Leyenda

	Depositos Cuaternarios
	Evento Cailloma-Barroso
	Evento Palca
	Formación Maure
	Evento Tacaza
	Evento Anta
	Basamento Cretácico
	Intrusivos subvolcánicos



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABADEL CUSCO

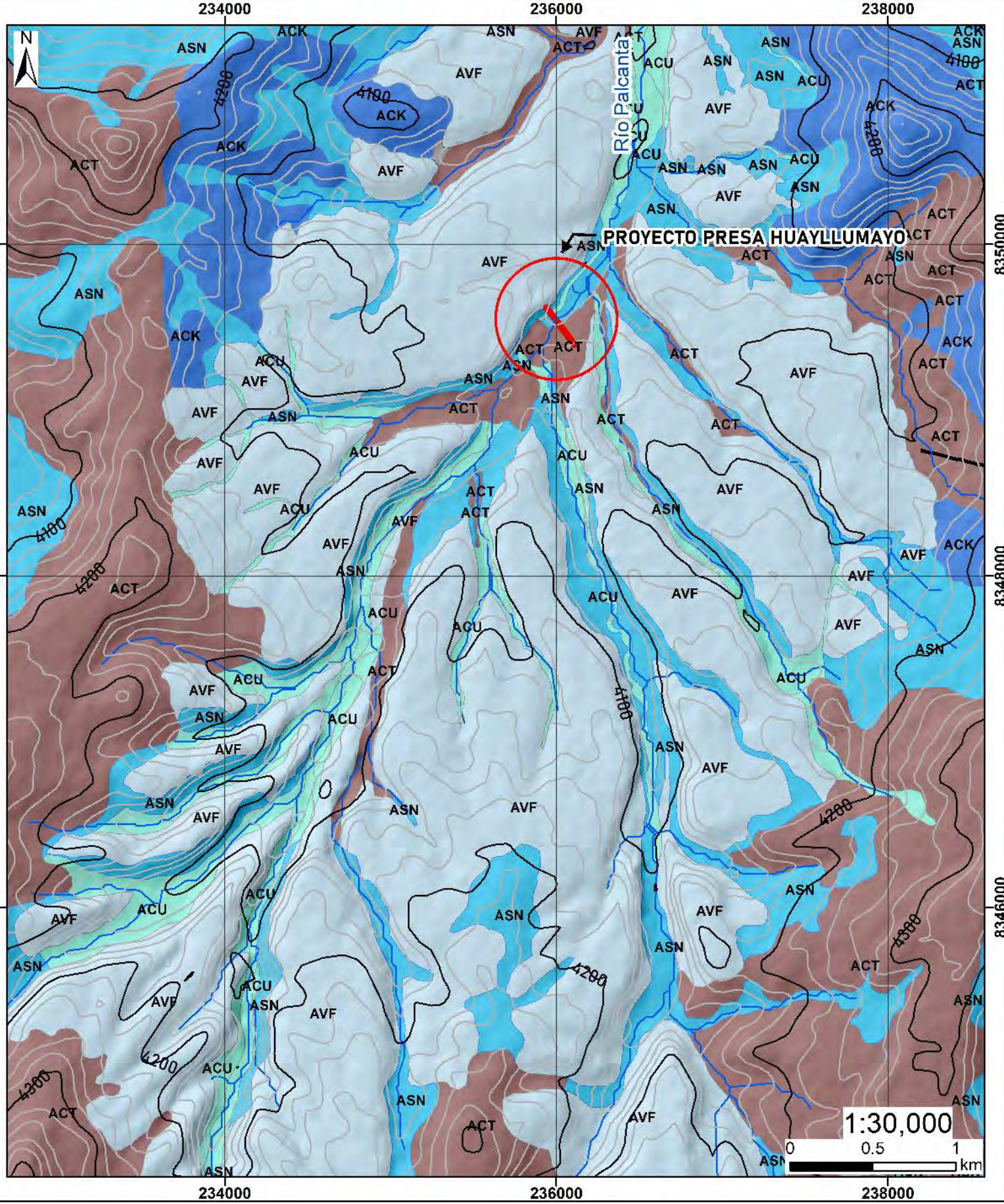
FACULTAD DE INGENIERIA GEOLOGICA, MINAS Y METALURGICA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA GEOLOGICA

TESIS:
EVALUACION GEOLOGICA-GEOTECNICA DE FACTIBILIDAD PARA LA AMPLIACION DE LA PRESA HUAYLLUMAYO MEDIANTE LA CONSTRUCCION DE UN NUEVO EJE DE PRESA, DISTRITO Y PROVINCIA DE ESPINAR, DEPARTAMENTO DE CUSCO-2024

MAPA:
ISOYETAS

UBICACION	ASESOR	FECHA
DISTRITO: ESPINAR	Dra. Josefina Escalante Gutierrez	JUNIO - 2024
PROVINCIA: ESPINAR	ELABORADO POR: Br. ANGEL RODRIGO MOLLEHUANCA PABLO Br. JESUS QUISEP CARDENAS	MAPA TES-08
REGION: CUSCO		
PROYECCION: UTM - WGS84		
ESCALA: INDICADA		



Leyenda

Hidrogeologico local

	ACK: Acuífero Karsitico, mayoritariamente calizas
	ACT: Acuitardo - rocas volcanicas poco fracturadas
	ACU: Acuífero regional
	ASN: Acuífero sedimntario no consolidado
	AVF: Acuífero volcanico fisurado

Simbología

	Cotas primarias 20 m
	Cotas secundarias 20 m
	Rio principal Palcanta
	Quebradas
	Fallas inferidas
	Éje de la presa

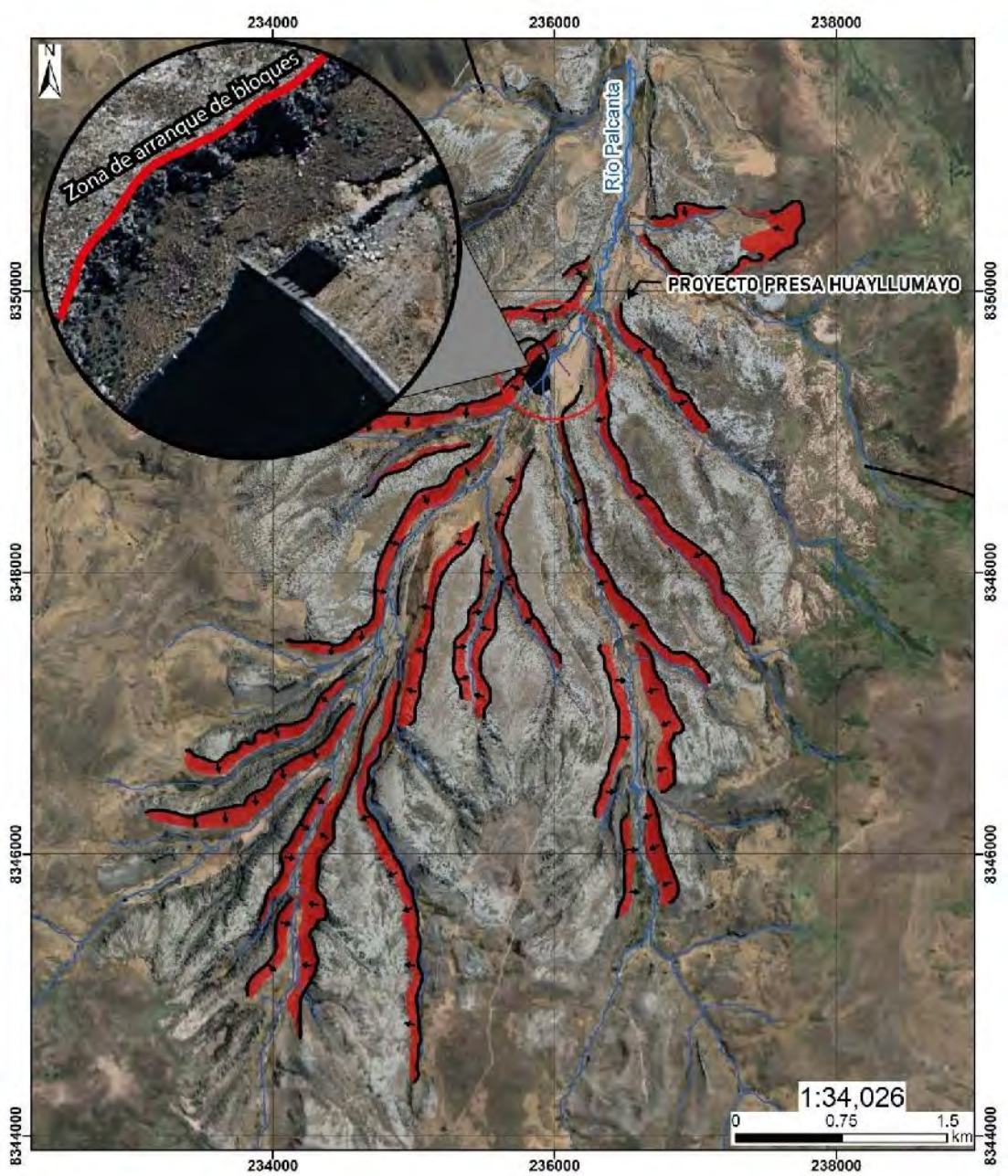


UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO
 FACULTAD DE INGENIERIA GEOLOGICA, MINAS Y METALURGICA
 ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA GEOLOGICA

TESIS:
 EVALUACION GEOLÓGICA-GEOTÉCNICA DE FACTIBILIDAD PARA LA AMPLIACION DE LA PRESA HUAYLLUMAYO MEDIANTE LA CONSTRUCCION DE UN NUEVO EJE DE PRESA, DISTRITO Y PROVINCIA DE ESPINAR, DEPARTAMENTO DE CUSCO-2024

MAPA: **HIDROGEOLOGICO**

UBICACION	ASESOR	FECHA
DISTRITO: ESPINAR	Dra. Josefna Escalante Gutierrez	JUNIO - 2024
PROVINCIA: ESPINAR	ELABORADO POR:	MAPA
REGION: CUSCO	Br. ANGEL RODRIGO MOLLEHUANCA PABLO	TES-8.1
PROYECCION: UTM - WGS 84	Br. JESUS QUISPE CARDENAS	
ESCALA: INDICADA		



Legenda

- Zona de susceptible a caída de rocas
- Dirección de caída de bloques

Simbología

- Cotas primarias 20 m
- Cotas secundarias 20 m
- Río principal Paicanta
- Quebradas
- Fallas inferidas
- Cje de la presa

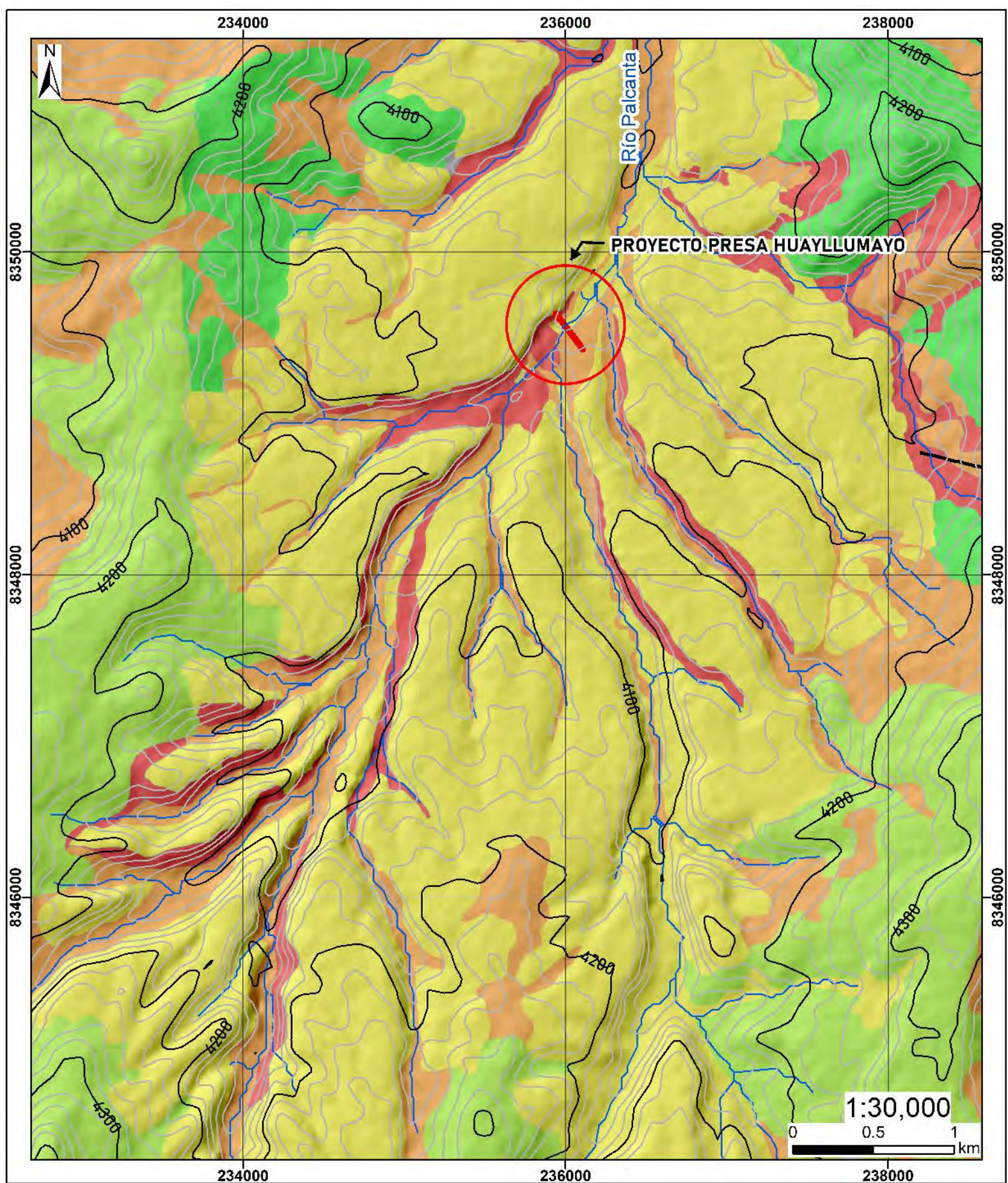
UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO
FACULTAD DE INGENIERIA GEOLOGICA, MINAS Y METALURGICA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA GEOLOGICA

TESIS:
EVALUACION GEOLOGICA-GEOTECNICA DE FACTIBILIDAD PARA LA AMPLIACION DE LA PRESA HUAYLLUMAYO MEDIANTE LA CONSTRUCCION DE UN NUEVO EJE DE PRESA, DISTRITO Y PROVINCIA DE ESPINAR, DEPARTAMENTO DE CUSCO. 2024

NAMA: **GEODINAMICA EXTERNA**

UBICACION	ASESOR	FECHA
DISTRITO: ESPINAR PROVINCIA: ESPINAR REGION: CUSCO	Dr. Joaquin Encarnación Gutierrez	3 JUNIO 2024
PROYECTO: UTM - AGES 14	ELABORADO POR: DR. ANDRÉS WILFRIDO MOLLEJUANCA PABLO DR. JESUS CRISTO CARRERAS	NAMA
ESCALA: INDICADA		TES-09



Leyenda

Peligro sísmico en base a la velocidad de onda (V_{s30})

MUY ALTO	85 - 100	Áreas con un alto potencial de amplificación sísmica debido a las características del suelo. Se requiere una alta preparación ante sismos intensos.
ALTO	100 - 135	Zonas con un potencial moderado de amplificación sísmica. Aún existe una considerable susceptibilidad a efectos sísmicos intensos.
MEDIO	135 - 200	Terrenos con amplificación sísmica intermedia. Aunque el peligro es moderado, pueden esperarse movimientos de moderada a alta intensidad en eventos sísmicos importantes.
BAJO	200 - 450	Áreas donde la amplificación sísmica es relativamente baja, con una menor probabilidad de efectos severos durante un terremoto.
MUY BAJO	450 - 800	Zonas con una baja amplificación sísmica, indicativas de terrenos más estables con menor riesgo sísmico en términos de movimientos intensos.

Simbología

—	Cotas primarias 20 m
—	Cotas secundarias 20 m
—	Río principal Palcanta
—	Quebradas
—	Fallas inferidas
—	Eje de la presa



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO

FACULTAD DE INGENIERIA GEOLOGICA, MINAS Y METALURGIA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA GEOLOGICA

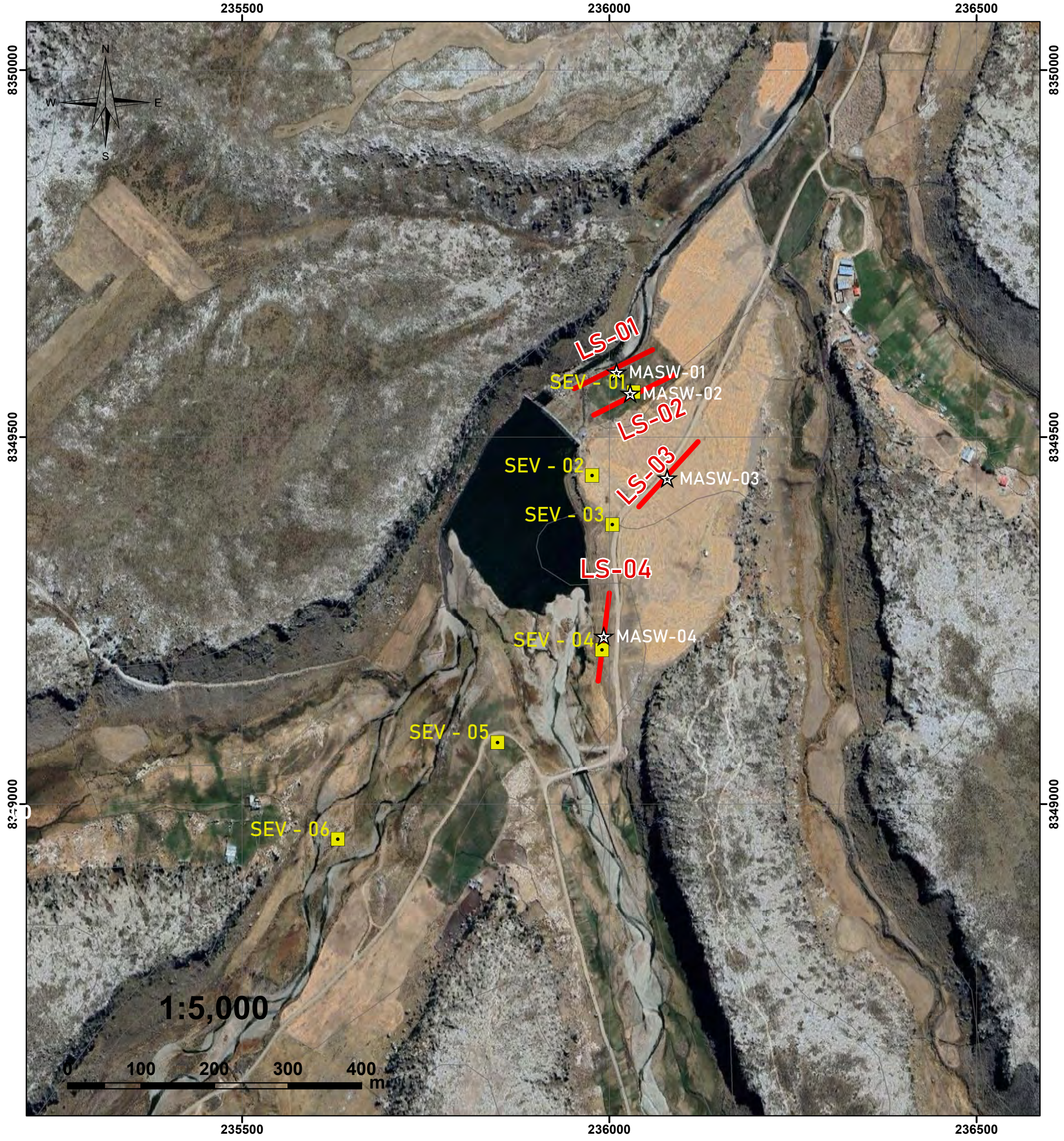
TESIS:

EVALUACION GEOLÓGICA-GEOTÉCNICA DE FACTIBILIDAD PARA LA AMPLIACION DE LA PRESA HUAYLLUMAYO MEDIANTE LA CONSTRUCCION DE UN NUEVO EJE DE PRESA, DISTRITO Y PROVINCIA DE ESPINAR, DEPARTAMENTO DE CUSCO-2024

MAPA:

PELIGRO SISMICO

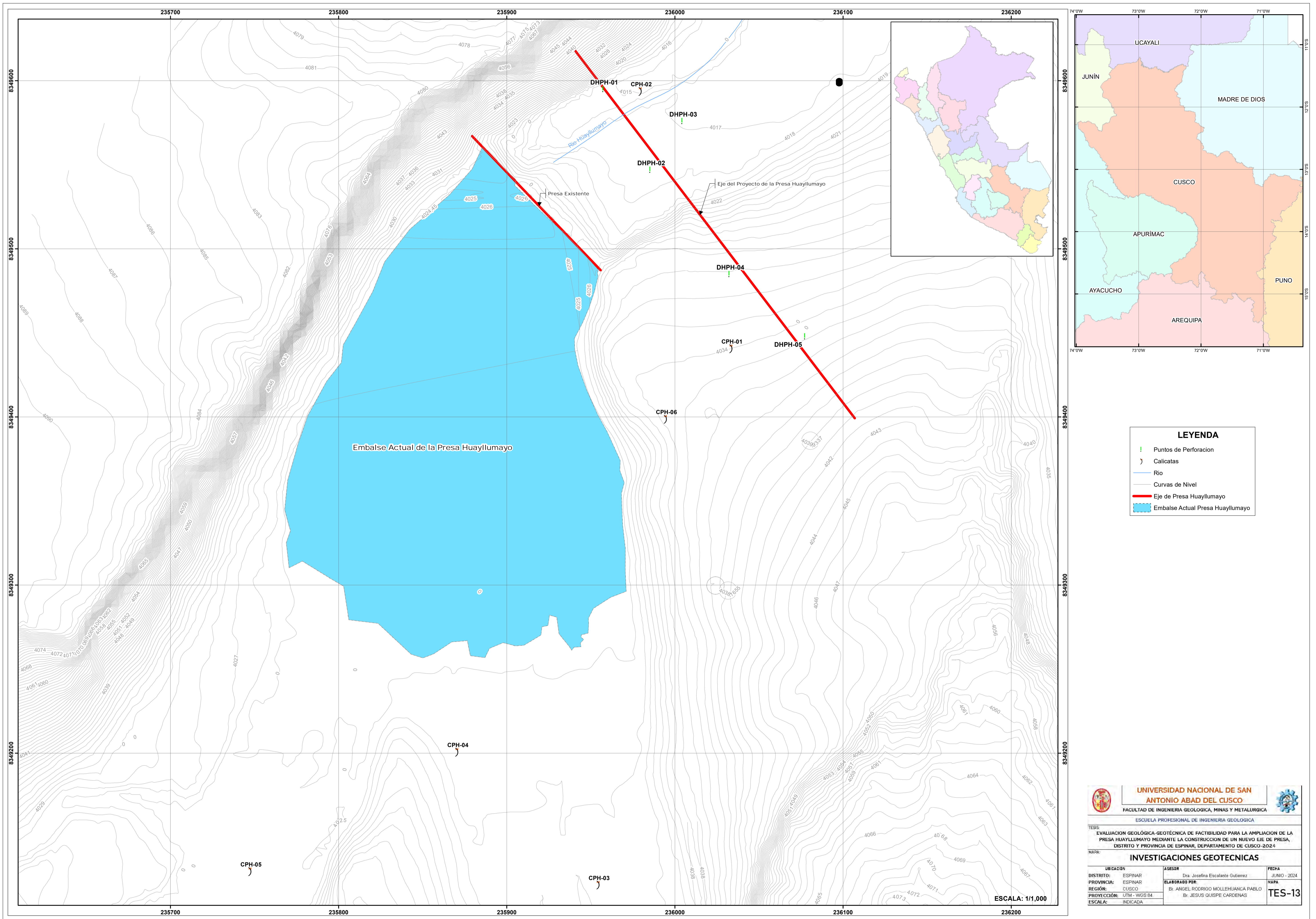
UBICACIÓN		ASESOR	FECHA
DISTRITO:	ESPINAR	Dra. Josefina Escalante Gutiérrez	JUNIO - 2024
PROVINCIA:	ESPINAR	ELABORADO POR: Br. ANGEL RODRIGO MOLLEHUANCA PABLO Br. JESUS QUISPE CARDENAS	MAPA TES-11
REGIÓN:	CUSCO		
PROYECCIÓN:	UTM - WGS 84		
ESCALA:	INDICADA		



LEYENDA

- SEV
- ☆ MASW
- / LS_01
- / LS_02
- / LS_03
- / LS_04


 <p>UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO</p>		
<p>FACULTAD DE INGENIERIA GEOLOGICA, MINAS Y METALURGICA</p> <p>ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA GEOLOGICA</p>		
<p>TESIS:</p> <p style="text-align: center;">EVALUACION GEOLOGICA-GEOTECNICA DE FACTIBILIDAD PARA LA AMPLIACION DE LA PRESA HUAYLLUMAYO MEDIANTE LA CONSTRUCCION DE UN NUEVO EJE DE PRESA, DISTRITO Y PROVINCIA DE ESPINAR, DEPARTAMENTO DE CUSCO-2024</p>		
<p>MAPA:</p> <p style="text-align: center;">INVESTIGACIONES GEOFISICAS</p>		
UBICACION		ASESOR
DISTRITO:	ESPINAR	Dra. Josefina Escalante Gutierrez
PROVINCIA:	ESPINAR	ELABORADO POR: Br. ANGEL RODRIGO MOLLEHUANCA PABLO Br. JESUS QUISPE CARDENAS
REGION:	CUSCO	
PROYECCION:	UTM - WGS 84	
ESCALA:	INDICADA	FECHA
		JUNIO - 2024
		MAPA
		TES-12



LEYENDA

- ! Puntos de Perforacion
-) Calicatas
- Rio
- Curvas de Nivel
- Eje de Presa Huayllumayo
- Embalse Actual Presa Huayllumayo

ESCALA: 1/1,000

 UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO FACULTAD DE INGENIERIA GEOLOGICA, MINAS Y METALURGICA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA GEOLOGICA		
TESIS: EVALUACION GEOLOGICA-GEOTECNICA DE FACTIBILIDAD PARA LA AMPLIACION DE LA PRESA HUAYLLUMAYO MEDIANTE LA CONSTRUCCION DE UN NUEVO EJE DE PRESA, DISTRITO Y PROVINCIA DE ESPINAR, DEPARTAMENTO DE CUSCO-2024		
MAPA: INVESTIGACIONES GEOTECNICAS		
UBICACION: DISTRITO: ESPINAR PROVINCIA: CUSCO REGION: CUSCO PROYECCION: UTM - WGS 84 ESCALA: INDICADA	ASESOR: Dra. Josefina Escalante Gutierrez ELABORADO POR: Br. ANGEL RODRIGO MOLLEHUANCA PABLO Br. JESUS QUISPE CARDENAS	FECHA: JUNIO - 2024 MAPA: TES-13