

UNIVERSIDAD NACIONAL MAYOR DE SAN MARCOS

FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS

UNIDAD DE POSGRADO

Modelación numérica con FEFLOW+FMH3 para el estudio definitivo de las galerías de drenaje: caso Derrumbe 5 - Complejo Hidroeléctrico del Mantaro

TESIS

Para optar el Grado Académico de Magíster en Ingeniería
Hidráulica con mención en Hidráulica Computacional

AUTOR

Rubén Esaú Mogrovejo Gutiérrez

ASESOR

Douglas Donal Sarango Julca

Lima – Perú

2016



UNIVERSIDAD NACIONAL MAYOR DE SAN MARCOS

(Universidad del Perú, Decana de América)

ESCUELA DE POST GRADO

FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS

UNIDAD DE POST GRADO

«MODELACIÓN NUMÉRICA CON FEFLOW+FMH3 PARA EL ESTUDIO DEFINITIVO DE LAS GALERÍAS DE DRENAJE: CASO DERRUMBE 5 - COMPLEJO HIDROELÉCTRICO DEL MANTARO»

Aprobación de la Tesis:

MSc. Ing. Douglas Sarango Julca
(Asesor)

Dr. Arístides Ramón Serruto Colque
(Presidente)

Dr. Carlos Augusto Antonio Carbonel Huamán
(Jurado Examinador)

Mg. Teresa Velásquez Bejarano
(Jurado Examinador)

Mg. Pedro Hugo Tumialán De la Cruz
(Jurado Examinador)

Lima, Perú, Febrero de 2017

DEDICATORIA

Este trabajo lo dedico a mi familia, que me dio lo más valioso y fundamental que se puede brindar a un ser humano en todas sus etapas: amor, motivación, educación y valores.

Sin dichas cualidades, no hubiese podido culminar este proyecto académico, que permitirá enriquecer mi desempeño profesional.

AGRADECIMIENTOS

Sin duda, agradecer por toda la ayuda recibida para la culminación de este trabajo podría resultar una tarea extensa, ya que el apoyo ha sido diverso y muy valioso.

Sin embargo, no puedo expresar mi gratitud a personas específicas sin antes agradecer en primer lugar al grupo de Geología, Geotecnia e Hidrogeología de la empresa consultora CESEL S.A., por confiar en mí y hacer posible mi afianzamiento académico y profesional; en segundo lugar al ingeniero Humberto Salazar Díaz, por su avidez por la investigación y la modelación numérica en mecánica de rocas.

Asimismo, en tercer lugar al Laboratorio Central de Hidráulica y Medio Ambiente, en especial al ingeniero César González Linares; y en cuarto lugar a la empresa Electroperú, por facilitarme literatura técnica que ha sido muy útil para el desarrollo de la presente tesis de Maestría.

Finalmente, agradezco al Mg. Ing. Douglas Sarango Julca, por la valiosa asesoría prestada en este proyecto académico; quien me orientó y dio ánimo para cumplir con este reto.

RESUMEN

La aplicación de los principios y herramientas de la hidrodinámica superficial y subterránea, así como el aprovechamiento de los datos campo in situ y su tratamiento, permite inferir y/o predecir el componente de flujo en movimiento dentro de las masas geológicas, siendo está una de las variables que podría desestabilizar deslizamientos, como el denominado Derrumbe N°5 ubicado en el estribo derecho de la Represa Tablachaca.

Esta información interpretada de los datos campo, han permitido proponer un primer modelo conceptual geológico-geotécnico-hidrogeológico, el cual se discute en la tesis bajo los escenarios conceptual y numérico, proyectándose dos galerías más a las existentes, dos piques y 6 nichos para la instalación de drenes radiales, los cuales permitirán incrementar la captación de tasas de flujo subterráneo, y en consecuencia mejorando la estabilidad física de las masas geológicas.

Asimismo, por primera vez, se propone la aplicación de un modelo numérico como es el código FEFLOW+FMH3, el cual se ajusta con bondad a geometrías geológicas complejas, en consecuencia, permitiendo una mejor interacción para predecir escenarios de hidrodinámica subterránea local dentro de las masas geológicas del denominado Derrumbe N°5, y cuya calibración aproxima estos datos medidos versus los estimados, en consecuencia facilitando mejores decisiones para proyectar sistemas de drenaje profundo.

Palabras clave: Flujo en medios porosos, aguas subterráneas, hidrogeología, modelación de acuíferos, geotecnia para galerías de drenaje, modelación numérica avanzada con drenes profundos.

ÍNDICE GENERAL

LISTA DE TABLAS	viii
LISTA DE FIGURAS	x
ACRONIMOS	xiii
UNIDADES	xiv
CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN	1
1.1. Generalidades	1
1.2. Marco Geográfico	5
1.3. Problemática	5
1.4. Objetivos	6
1.4.1. Objetivo general	6
1.4.2. Objetivos específicos	6
CAPÍTULO II. REVISIÓN DE LA LITERATURA	8
2.1. Hidrología Subterránea	8
2.1.1. Formaciones hidrogeológicas	8
2.1.2. Movimiento del agua subterránea	9
2.1.3. Parámetros geohidráulicos	10
2.1.4. Ecuaciones que gobiernan el flujo subterráneo	13
2.1.5. Ecuación para el cálculo del espaciamiento de drenes	19
2.2. Métodos Numéricos	22
2.2.1. Fundamentos del método de elementos finitos	24
2.2.2. Condiciones iniciales y de contorno	33
a. Condición de contorno tipo 1 o de Dirichlet:	35
b. Condición de contorno tipo 2 o de Neumann:	35
c. Condición de contorno tipo 3 o de Cauchy:	36
d. Superficie libre:	38
2.2.3. Diseño del modelo, desarrollo y aplicación	38
2.2.4. Diseño de la malla	39
2.2.5. Calibración del modelo	40
a. Convergencia del modelo:	44

b.	Precondicionamiento:	45
c.	Análisis de sensibilidad:	46
•	Calibración manual tentativa y error:	46
•	Calibración para la estimación de parámetros automatizada:	46
d.	Evaluación de la calibración:	47
CAPÍTULO III. MATERIALES Y MÉTODOS		51
3.1.	Materiales	51
3.1.1.	Información cartográfica	51
•	Levantamiento topográfico en las galerías:	52
3.1.2.	Información climatológica	53
a.	Temperatura:	55
b.	Humedad relativa:	55
c.	Evaporación:	56
d.	Horas de sol:	57
e.	Velocidad del viento:	57
f.	Hidrografía:	57
g.	Precipitación:	57
3.1.3.	Hardware y software especializados	58
3.2.	Área de Estudio	58
3.3.	Caracterización de la Hidrología Superficial	58
3.3.1.	Ciclo hidrológico del área de estudio	58
3.4.	Caracterización de la Hidrología Superficial	59
3.4.1.	Ciclo hidrológico del área de estudio	59
3.4.2.	Datos históricos	59
3.4.3.	Tiempo de retorno	63
3.4.4.	Ajuste estadístico de P_{max24}	65
3.4.5.	Curva IDF	65
3.4.6.	Tiempo de concentración	66
3.4.7.	Coeficiente de escorrentía	67
3.4.8.	Rendimiento hídrico	67
3.4.9.	Caudal de diseño	69
3.5.	Caracterización Geológica	72
3.5.1.	Geomorfología	72

3.5.2. Unidades litoestratigráficas	73
a. Grupo Excélsior Devoniano (D-e):	74
b. Grupo Ambo (Ci-a)-Carbonífero inferior:	78
c. Cuaternario:	79
3.5.3. Estructuras geológicas	82
a. Discordancia:	82
b. Fallas:	83
c. Patrón estructural:	85
3.5.4. Procesos geológicos incidentes en el Derrumbe 5	87
a. Aguas subterráneas y permeabilidad:	87
b. Procesos geológicos y su relación con el agua:	89
c. Morfología del área del Derrumbe 5:	91
d. Zonas morfológicas de desplazamiento en el Derrumbe 5:	92
3.6. Caracterización Geotécnica	109
3.6.1. Evaluación de la estabilidad del Derrumbe 5	109
3.6.2. Propiedades de los materiales	116
a. Relleno de contrafuerte:	116
b. Sedimentos del embalse:	117
c. Depósitos aluviales:	118
e. Zona de brecha:	119
f. Pizarra fracturada:	120
g. Basamento rocoso:	120
3.7. Características Geomecánicas de Nichos y Galerías	126
3.7.1. Evaluación geomecánica	127
3.7.2. Clasificación geomecánica del macizo	127
a. Clasificación geomecánica de Bieniawski (RMR):	128
b. Clasificación geomecánica de Barton (índice Q):	129
3.7.3. Calidad del macizo rocoso	130
a. Galería 250 A:	131
b. Galería 200 A:	132
3.8. Ensayos de Laboratorio	133
3.8.1. Ensayos de carga puntual	133
3.8.2. Ensayo de propiedades físicas de la roca	134

3.9. Modelo Conceptual Hidrogeológico	136
3.9.1. Mapeo hidrogeológico	136
3.9.2. Mecanismo de recarga y descarga	139
a. Recarga:	139
b. Descarga:	140
3.9.3. Unidades hidrogeológicas	144
a. Zona 1 - Cuaternario Coluvial (Q-c):	144
b. Zona 2 - Cuaternario Paleoderrumbe (Qp-pd):	144
c. Zona 3 - Brecha de Pizarra (Qp-pd-b):	144
3.9.4. Conductividad hidráulica	146
3.9.5. Geometría del acuífero	147
3.10. Planteamiento del Sistema de Drenaje Subterráneo	149
3.10.1. Determinación de caudales en galerías	149
a. Galería 250A:	151
b. Galería 200A:	152
c. Piques de drenaje:	154
3.10.2. Estimación del espaciamiento entre galerías	155
CAPÍTULO IV. RESULTADOS, ANÁLISIS Y DISCUSIÓN	160
4.1. Resultados del Modelo Hidrogeológico Conceptual	160
4.2. Resultados del Modelo Numérico Hidrogeológico del Sistema del Derrumbe 5	161
4.2.1. Resultados de las condiciones de contorno	165
4.2.2. Resultados de los datos de entrada	165
4.2.3. Resultados de la etapa de calibración del modelo numérico	167
4.2.4. Resultados de la etapa de validación del modelo numérico	169
4.3. Resultados de la Etapa de Simulación del Modelo Numérico	172
CAPITULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	176
5.1. Conclusiones	176
5.2. Recomendaciones	178
REFERENCIAS	180
ANEXOS	184

LISTA DE TABLAS

Tabla 2.1. Resumen de permeabilidades	11
Tabla 2.2. Resumen de porosidades	12
Tabla 3.1. Puntos de control de orden B - Datum WGS- 84.....	52
Tabla 3.2. Punto de Control Auxiliar	52
Tabla 3.3. Resumen de levantamiento topográfico en las galerías	53
Tabla 3.4. Resumen de información de estaciones de aforo	54
Tabla 3.5. Resumen de información de temperatura	55
Tabla 3.6. Temperatura media mensual - Rangos térmicos.....	56
Tabla 3.7. Humedad relativa - Cuenca del río Mantaro.....	56
Tabla 3.8. Datos de precipitación total mensual estación Quichuas	61
Tabla 3.9. Estaciones pluviométricas	63
Tabla 3.10. Serie de precipitación media diaria a nivel mensual sobre el Derrumbe 5 (en mm)	64
Tabla 3.11. Tiempo de retorno en función de diseño y riesgo aceptable de falla	65
Tabla 3.12. Tiempo de retorno	66
Tabla 3.13. Tiempo de concentración	68
Tabla 3.14. Coeficiente de escorrentía en función de característica regional y periodo de retorno	70
Tabla 3.15. Caudales de diseño del sistema de drenaje del Derrumbe 5	71
Tabla 3.16. Parámetros del modelo Mohr-Coulomb.....	116
Tabla 3.17. Valores de los parámetros del modelo Mohr-Coulomb.....	120
Tabla 3.18. Resultados de los análisis de estabilidad	123
Tabla 3.19. Resumen de estaciones geomecánicas	128
Tabla 3.20. Valoración geomecánica de Bieniawski (RMR)	128
Tabla 3.21. Detalle de la clasificación del sistema Q	130
Tabla 3.22. Resumen de la calidad del macizo rocoso	130
Tabla 3.23. Resumen de parámetros de la roca en nichos	134
Tabla 3.24. Resumen de parámetros de la roca en galerías.....	135
Tabla 3.25. Resultados de los ensayos.....	137
Tabla 3.26. Resultados de los ensayos.....	138

Tabla 3.27. Resumen de permeabilidades de las zonas geológicas del Derrumbe 5	146
Tabla 3.28. Resumen de propiedades de la matriz del material del derrumbe y la zona de brecha.....	147
Tabla 3.29. Lectura de piezómetros en el área del Derrumbe 5.....	148
Tabla 3.30. Resumen de las características de los tubos de drenaje proyectados, del Nicho A.....	151
Tabla 3.31. Resumen de las características de los tubos de drenaje proyectados, del Nicho B.....	152
Tabla 3.32. Resumen de las características de los tubos de drenaje proyectados, del Nicho C	152
Tabla 3.33. Resumen de las características de los tubos de drenaje proyectados del Nicho D	153
Tabla 3.34. Resumen de las características de los tubos de drenaje proyectados, del Nicho D	153
Tabla 3.35. Resumen de las características de los tubos de drenaje proyectados, del Nicho D	154
Tabla 3.36. Resumen de caudales para cada tramo de excavación subterránea mediante drenes.....	157
Tabla 4.1. Conductividad hidráulica asignada al modelo	167
Tabla 4.2. Cargas hidráulicas observadas (Hc) y simuladas (Hm).....	169
Tabla 4.3. Caudales estimados en estructuras de drenaje profundo	170
Tabla 4.4. Caudal numérico estimado en Pique 1	170

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1. Ubicación del área de estudio	2
Figura 1.2. Ubicación de las masas geológicas	3
Figura 2.1. Ilustración de la complejidad de la naturaleza y tipos de acuíferos..	8
Figura 2.2. Volumen de control parte de un acuífero.	14
Figura 2.3. Parámetros de la fórmula de Donnan.....	21
Figura 2.4. Ejemplo de dominios 2D en diferencias y elementos finitos.....	23
Figura 2.5. Discretización del área en estudio en elementos 2D lineales	25
Figura 2.6. Tipos de elementos finitos en 1D, 2D y 3D	27
Figura 2.7. Elemento 2D triangular.....	28
Figura 2.8. Esquema del domino y condiciones de frontera.....	29
Figura 2.9. Esquema del domino y condiciones de contorno	31
Figura 2.10. Condición de contorno tipo 1	35
Figura 2.11. Condición de contorno tipo 2 para 2D y 3D	36
Figura 2.12. Condición de contorno tipo 2 para 2D y 3D.....	36
Figura 2.13. Condición de contorno tipo 3 – Infiltración	37
Figura 2.14. Condición de superficie libre	38
Figura 2.15. Diseño de la malla de un acuífero estructurado,	40
Figura 2.16. Diseño de la malla en acuíferos de estratigrafía compleja	41
Figura 3.1. Vista del interior de la galería existente.....	54
Figura 3.2. Diagrama topológico de la cuenca del río Mantaro	60
Figura 3.3. Ámbito de estudio para las obras de estabilización del Derrumbe 5 - Quichuas - Huancavelica	62
Figura 3.4. Ciclo hidrológico en la zona de estudio	62
Figura 3.5. Clasificación hidrológica de los suelos en el Derrumbe 5	69
Figura 3.6. Frente superior de deslizamiento y zona desplazada con cobertura coluvial	94
Figura 3.7. Revisión del modelo geológico-geotécnico del Derrumbe 5.....	97
Figura 3.8. Parte superior del frente de desplazamiento del Derrumbe 5	100
Figura 3.9. Sección A Obsérvense la ubicación de los anclajes	110
Figura 3.10. Sección A Obsérvese la ubicación real de los anclajes	112
Figura 3.11. Sección B Obsérvese la ubicación de las galerías de drenaje	

proyectadas.....	113
Figura 3.12. Sección D Obsérvese la mayor acumulación de agua	115
Figura 3.13. Cuenco de acumulación de agua subterránea	117
Figura 3.14. Vista de ubicación de las secciones interpretadas.....	118
Figura 3.15. Interpretación de superficies de deslizamiento	121
Figura 3.16. Vista en planta de las masas de los principales deslizamientos	122
Figura 3.17. Sección A de superficies de deslizamiento: (a) durante lluvias extremas en 1982, y (b) después de las obras de estabilización en 1984	124
Figura 3.18. Vista del modelo 3D del nicho y galería proyectada.....	136
Figura 3.19. Vista de la construcción del nicho A.....	137
Figura 3.20. Modelo conceptual de recarga del Derrumbe 5	138
Figura 3.21. Vista 3D del agua concentrada en la superficie del basamento - límite superior del acuífero	140
Figura 3.22. Perfil estratigráfico modelo hidrogeológico conceptual	142
Figura 3.23. Interpretación de la zona de descarga del Derrumbe 5.....	143
Figura 3.24. Vista 2D de las unidades hidrogeológicas.....	145
Figura 3.25. Resumen de conductividad hidráulica en el Derrumbe 5	147
Figura 3.26. Vista cuasi 3D de la geometría del acuífero interpretado del Derrumbe 5	149
Figura 3.27. Vista cuasi 3D del sistema de galerías existente y propuesto del Derrumbe 5	150
Figura 3.28. Vista esquemática del Pique 1 del Derrumbe 5	155
Figura 3.29. Vista de nichos en galerías proyectadas del Derrumbe 5	156
Figura 3.30. Vista del Pique 1 y del nivel freático interpretado del Derrumbe 5	157
Figura 3.31. Vista del Pique 2, fase construcción.....	158
Figura 3.32. Vista 3D del sistema de galerías existente y proyectado	159
Figura 3.33. Vista de perforación e instalación de tubería de drenaje en galerías	159
Figura 4.1. Vista 3D del modelo conceptual y sección hidrogeológica.....	161
Figura 4.2. Vista 2D modelo conceptual hidrogeológico	162
Figura 4.3. Vista Cuasi 3D de la zona investigada en el Derrumbe 5	163
Figura 4.4. Vista 3D de la malla en elementos finitos del Derrumbe 5	164

Figura 4.5. Asignación de los tipos de bordes.....	166
Figura 4.6. Estimación numérica del caudal en el Pique 1	168
Figura 4.7. Balance hídrico para el Derrumbe 5 (incluye obras de drenaje profundo).....	171
Figura 4.8. Comparación del lugar geométrico - nivel freático obtenido en campo y el numérico	173
Figura 4.9. Abatimiento del nivel freático simulado con las obras de drenaje profundo	174
Figura 4.10. Simulación numérica de los vectores de flujo	175

ACRONIMOS

1D	Una dimensión
2D	Dos dimensiones
3D	Tres dimensiones
A	Acuitardo
AC	Acuífero confinado
AL	Acuífero libre
BC	Condición de frontera
CFD	Dinámica de fluidos computacional
DF	Darcy-Forchheimer
DFE	Descripción de elemento discreto
FA	Agua dulce
FDM	Método de diferencia finita
FEFLOW	Simulador de flujo en elementos finitos
FEM	Método de elemento finito
FVM	Método de volumen finito
IC	Condición inicial
MPFA	Método de aproximación múltiple de flujo – punto
OBC	Condición de frontera de flujo saliente
ODE	Ecuación diferencial ordinaria
PDE	Ecuación diferencial parcial
RI	Río
RMS	Raíz métrica cuadrada
UA	Acuífero no Confinado
WT	Nivel freático
VG	van Genuchten

UNIDADES

α_m	Parámetro de esfuerzo efectivo [L]
γ_w	Peso específico del agua [ML ⁻² T ⁻²]
θ	Contenido volumétrico del agua
ρ	Densidad del fluido [ML ⁻³]
η	Porosidad
V_v	Volumen de vacíos [L ³]
V	Volumen unitario de roca o sedimento [L ³]
K	Permeabilidad [LT ⁻¹]
d	Diámetro medio de los granos [L]
C	Constante de proporción de facto de forma [L ²]
q	Tasa de descarga total unitaria de flujo subterráneo [L ³ T ⁻¹]
qx	Tasa de descarga en el eje X [L ³ T ⁻¹]
qy	Tasa de descarga en el eje Y [L ³ T ⁻¹]
qz	Tasa de descarga en el eje Z [L ³ T ⁻¹]
g	Aceleración de la gravedad [LT ⁻²]
D	Espesor del acuífero [L]
mef	Porosidad eficaz
Ss	Almacenamiento específico [L ⁻¹]
T	Transmisividad [L ² T ⁻¹]
t	Tiempo [T]

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

1.1. Generalidades

El río Mantaro está ubicado en la parte central de la sierra peruana y drena las aguas de la cuenca hidrográfica más importante del país, en una superficie de 36,600 km². En su tramo medio, se encuentra la represa y/o embalse Tablachaca, que es la principal fuente de recursos hídricos permanente, para la generación de potencia y energía en las centrales Santiago Antúnez de Mayolo (SAM) y Restitución (RON) del Complejo Mantaro.

El embalse comenzó a operar en 1973, junto con la puesta en servicio de la primera etapa de la central Santiago Antúnez de Mayolo (SAM); en tanto que la segunda etapa inició sus operaciones en 1978. A fines de 1984, inició su operación la central Restitución (RON), que es la segunda central del Complejo Mantaro, que produce en la actualidad de un total de 1,008 MW de potencia.

Después de construida la presa Tablachaca y poco antes de iniciarse el llenado del embalse (en setiembre de 1972), por su magnitud, tasas de movimiento, cercanía a la represa y a sus obras auxiliares –que pudieron ser seriamente afectadas–, sorprendió un deslizamiento ocurrido en el área, al que se denominó Derrumbe 5. Este, se localiza sobre la margen derecha del río Tablachaca, aguas arriba a la represa.

El llenado del embalse generó movimientos y grietas en la antigua masa del deslizamiento, lo cual exigió controlar el nivel de agua en la represa y monitorear los cambios. Los intensos períodos de lluvia registrados entre 1979 y 1982 (Fenómeno del Niño) incrementaron los movimientos en el derrumbe hasta casi declararse en emergencia el proyecto, en abril de ese último año. Por tal motivo, fue necesario construir obras de estabilización con la construcción de galerías de drenaje, e instalar instrumentación geotécnica en la zona afectada.

Esto a través de servicios de consultoría nacional y extranjera, luego de identificarse los riesgos.

Entre las primeras acciones realizadas para atender la emergencia, se construyó un contrafuerte en la parte inferior del derrumbe (véanse las figuras 1.1 y 1.2), se instalaron tendones de anclaje cerca del estribo derecho de la represa, y se construyeron dos galerías profundas con drenes radiales en el interior del macizo rocoso, así como cunetas revestidas para el manejo de las aguas superficiales.



Figura 1.1. Ubicación del área de estudio

Los trabajos comprendieron la compactación de 1,583 columnas de grava en un área de 7,600 m² (0.7 ha), y la instalación de 467,000 m³ de material de relleno para el contrafuerte. Asimismo, se instalaron 419 anclajes en tres niveles de pantallas (a 2,750, 2,730 y 2,710 m.s.n.m.), que requirieron la aplicación de

una fuerza total de 486,000 kN (48,600 ton).

Las galerías excavadas en el macizo rocoso, llamadas S-200 y S-250, tienen una longitud de 1,300 m, y a ellas se agregaron otros 227 m de ramales de drenaje subterráneos complementarios, que se desprendían de los existentes.



Figura 1.2. Ubicación de las masas geológicas

En total, se construyeron 190 drenes radiales con una longitud de 3,290 m. A su vez, en la superficie se horadaron 21 drenajes horizontales de 1,282 m, ubicados a cotas entre 2,700 m.s.n.m. y 2,725 m.s.n.m. El sistema de drenaje superficial implicó la construcción de 5,963 m de cunetas de drenaje a lo ancho y largo del Derrumbe 5.

En el año 2004, se realizó un estudio integral del embalse de Tablachaca,

cuyo objetivo principal fue reevaluar y diagnosticar la estabilidad general del Derrumbe 5, por medio de un modelo numérico geológico y geotécnico actualizado, y para estimarse obras de estabilización complementarias.

La evaluación propuso diferentes alternativas para mantener y/o mejorar las condiciones de estabilidad, seguridad a la operación del embalse y confiabilidad al complejo hidroeléctrico del Mantaro.

Para proyectar los diseños definitivos de las obras de estabilización complementarias del Derrumbe 5, se tuvieron como base los estudios precedentes, sobre todo de los aspectos geológicos y geotécnicos. Los documentos de referencia fueron:

- «Informe geológico del Derrumbe 5». Documento TB-2.1/D3-21102-21103. Dos volúmenes.
- «Derrumbe 5. Informe de inspección geológica de galerías de exploración».
- «Evaluación geotécnica estática y dinámica del Derrumbe 5». Documento TB-2.1/D4-21202G-21203.
- «Estudio de factibilidad para complementación de las obras de estabilización del Derrumbe 5». Documento TB-2.1-D5-21204.
- Informe final de Geodesia, Topografía y Cartografía Rev. 3, VF Vol. 1 de 1.
- Estudio de factibilidad para la complementación de las obras de estabilización seleccionadas para el derrumbe 5, Rev. 2, VF Vol. 1 de 1.

La información de los documentos precedentes fue complementada con aquella de registros, instrumentación reciente y otras fuentes.

1.2. Marco Geográfico

El deslizamiento llamado Derrumbe 5 se halla en un sector de la margen derecha del valle encañonado del río Mantaro, aguas arriba del estribo derecho de la represa Tablachaca, a casi 110 km de la ciudad de Huancayo. Políticamente, se ubica en el distrito de Pampas de la provincia de Tayacaja, en el departamento de Huancavelica.

El acceso es por la carretera Central hasta Huancayo; se continúa por la carretera afirmada hasta Izcuchaca; y luego por la Mejorada, hasta el poblado de Quichuas.

El Derrumbe 5 se ubica entre los 2,660 m.s.n.m. y los 3,300 m.s.n.m. Dicha zona presenta un clima templado-seco, con una temperatura que oscila entre los 16°C y los 27°C. La estación lluviosa se inicia en el mes de octubre y diciembre pero los mayores registros se dan hasta marzo. La estación seca varía entre los meses de abril y septiembre.

Como se aprecia en la Figura 1.1, en el estribo derecho de la represa Tablachaca, las obras previstas a realizarse deben mantener y/o mejorar las condiciones actuales de estabilidad Derrumbe 5, para mejorar la seguridad del embalse y con ello las operaciones del sistema hidroenergético del Mantaro.

1.3. Problemática

En la actualidad, varios estudios integrales de la represa Tablachaca contemplan la construcción de obras para la mejora de la estabilidad física de las masas geológicas, que colindan con el eje de la represa. La consistencia de dichas unidades geológicas está constituida por agregados naturales, entre suelos y rocas, con una permeabilidad inherente a cada tipo, que favorecen en ciertos planos la infiltración a causa de la hidrología local.

La inestabilidad en las masas alrededor del Derrumbe 5 también ha sido generada por un movimiento de flujo regional (por medio de fallas), que contribuyó a los cambios en la presión de los poros. Por ello, la finalidad de la empresa propietaria o administradora del complejo hidroenergético, es mantener operativa la represa Tablachaca, por lo que es imperativo reevaluar y/o garantizar la estabilidad de las referidas forzantes externas. Esta tarea es prioritaria para los intereses del país, toda vez que el complejo hidroeléctrico del Mantaro produce casi el 30% de la energía que se consume en el Perú, a través de sus centrales hidroeléctricas Santiago Antúnez de Mayolo y Restitución.

Por último, ante la necesidad de proponer obras que garanticen la estabilidad física del deslizamiento, se tiene que plantear un modelo conceptual y numérico geológico-geotécnico e hidrogeológico (véase la Figura 1.2).

1.4. Objetivos

1.4.1. Objetivo general

Proponer un primer modelo conceptual hidrogeológico local en la zona del Derrumbe 5, caracterizando los acuíferos presentes en la superficie y en la profundidad, y aplicar una modelación numérica con FEFLOW+FMH3, esto con la finalidad de plantear las obras de drenaje y subdrenaje, que permitan mejorar la resistencia de los suelos y modifiquen los parámetros de resistencia en cada unidad geológica.

1.4.2. Objetivos específicos

- Analizar los efectos derivados del ciclo del agua local, mediante la cuantificación, delimitación de áreas de drenaje y su relación con las condiciones hidrogeológicas (tipos de acuíferos).
- Identificar las zonas de recarga y descarga, interpretando el modelo conceptual de interacción de escorrentía superficial, subsuperficial y subterránea.

- En función de la información geológica-geotécnica disponible, comprender las unidades hidrogeológicas *in situ*, con fines de estimar el movimiento del flujo en medios porosos.
- Predecir escenarios hidrogeológicos considerando las obras de estabilización para el deslizamiento, y su relación con los límites del acuífero interpretado.
- Aplicación del modelo FEFLOW+FMH3, para predecir las trayectorias y tasas de flujo de agua, que convergen a las masas del deslizamiento denominado Derrumbe 5, con fines de proyectar las obras civiles de captación subterránea.

CAPÍTULO II. REVISIÓN DE LA LITERATURA

2.1. Hidrología Subterránea

2.1.1. Formaciones hidrogeológicas

Los acuíferos son formaciones geológicas subterráneas permeables, susceptibles de almacenar y transmitir el agua. Desde el punto de vista hidrogeológico, estas formaciones suelen dividirse en cuatro grupos principales (véase la Figura 2.1).

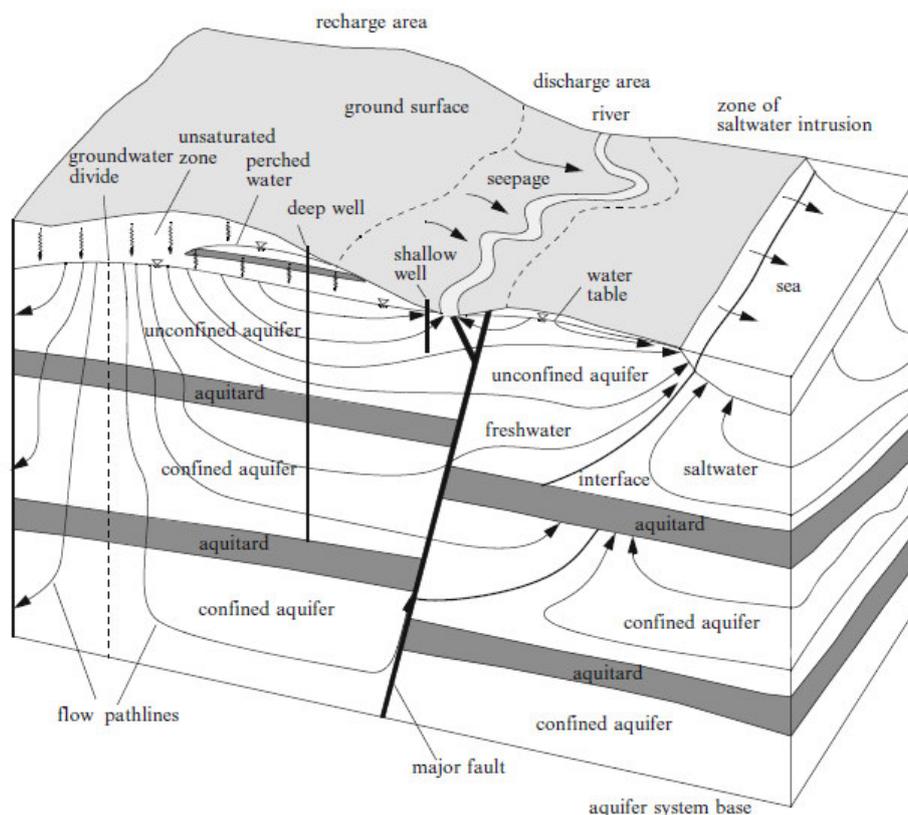


Figura 2.1. Ilustración de la complejidad de la naturaleza y tipos de acuíferos. Fuente: Diersch, (2014).

- a. Acuíferos:** Formación geológica capaz de almacenar y transmitir el agua (gravas, arenas, materiales calizos, etc.), que presentan capacidad de drenaje alta en las que se pueden perforar pozos y sondeos.

- b. Acuitardos:** Son formaciones capaces de almacenar el agua en cantidades muy importantes pero la transmiten con dificultad. Pueden llamarse con frecuencia formaciones semipermeables (limos, arenas limosas, arenas arcillosas, etc.), con capacidad de drenaje media a baja. Se presentan como elementos transmisores del agua en recargas verticales a través de grandes superficies.

- c. Acuícludos:** Son formaciones que pueden almacenar el agua en grandes cantidades pero no tienen la posibilidad de transmitirla y se drenan con mucha dificultad. El agua se encuentra encerrada en los poros de la formación y no puede ser liberada (arcillas, arcillas plásticas, limos arcillosos, etc.).

- d. Acuífugos:** Son formaciones incapaces de almacenar y de transmitir agua. Por lo general, son rocas compactas como granitos y gneises, a veces incluso calizas muy compactas sin karstificar; se muestran como impermeables salvo que existan fracturas que puedan permitir flujos.

2.1.2. Movimiento del agua subterránea

En el subsuelo, el agua se puede encontrar en diferentes condiciones: desde aquella que circula libremente, hasta la que se encuentra firmemente fijada en el interior de estructuras cristalinas. El agua del suelo está sujeta a fluctuaciones debido a la evaporación y transpiración que actúan sobre ella.

Asimismo, existe una zona intermedia que separa la superficie superior de la zona de saturación, de la zona de humedad del suelo. En la parte inferior

de la zona intermedia comienza la franja capilar. La zona de las aguas subterráneas está separada de la franja capilar por la superficie freática. La superficie freática es la superficie saturada de un terreno no confinado sobre el cual la presión hidrostática es igual a la presión atmosférica. El agua situada por debajo de la superficie freática por lo general se llama agua subterránea; y la zona situada por debajo de esta, zona de saturación. La zona de agua freática limita en su parte inferior con una capa donde la compacidad del terreno hace que este contenga muy pocos poros, no conectados entre sí, que impiden al agua emigrar a mayor profundidad.

2.1.3. Parámetros geohidráulicos

Estudiar el medio poroso contempla la definición microscópica de los poros y canalículos por donde debe circular el fluido. Es por ello, que se formulan leyes de carácter macroscópico que tratan el medio como un continuo con propiedades definidas en las cuales intervienen tres parámetros fundamentales: la permeabilidad, la porosidad y el coeficiente de almacenamiento.

a. Permeabilidad: Es el parámetro que permite evaluar la capacidad de transmitir agua de una formación en función de la textura de la misma, sin relacionarla con su estructura o forma geométrica. La permeabilidad se expresa matemáticamente como el producto del diámetro promedio de los granos del material geológico y una constante de proporcionalidad intrínseca del medio. Es decir:

$$K = Cd^2 \quad (2.1)$$

donde:

C = Constante de proporcionalidad denominada factor de forma,

d = Diámetro promedio de los granos del material geológico.

En la Tabla 2.1 se presentan los valores típicos de la permeabilidad de diferentes materiales geológicos. La permeabilidad es un término que comúnmente se utiliza de manera cualitativa con el fin de describir la propiedad del medio geológico para transmitir un fluido. En ese sentido, la permeabilidad describe la capacidad de permitir el flujo de cualquier fluido a través de un medio poroso específico.

b. Porosidad: Es una propiedad intrínseca de todo el material terrestre y se define como el volumen de aberturas, huecos u oquedades; es decir, todo tipo de espacio intergranular de las rocas y sedimentos. El término porosidad se expresa como el porcentaje de espacios con relación a un volumen unitario de roca o sedimento.

Tabla 2.1. Resumen de permeabilidades.

Tipo de Material	Permeabilidad (Darcy)
Materiales no consolidados	
Grava	10^5-10^2
Arena limpia	$10^3-0.5$
Arena limosa	10^2-10^{-2}
Loess, limo	$10-10^{-4}$
Arcilla marina	$10^{-4}-10^{-7}$
Materiales consolidados	
Arenisca	$10^{-1}-10^{-5}$
Caliza y dolomita	$10^{-1}-10^{-4}$
Caliza cárstica	10^3-10^{-1}
Pizarras y lutitas	$10^{-4}-10^{-8}$
Basalto fracturado	10^3-10^{-2}
Roca cristalina fracturada	$10-10^{-3}$
Roca cristalina densa	$10^{-5}-10^{-8}$

Fuente: Custodio (2001).

La representación matemática de la porosidad es:

$$\eta (\%) = \left(\frac{V_v}{V} \right) * 100 \quad (2.2)$$

donde:

η : Porosidad (adimensional),

V_v : Volumen de espacios (L^3),

V : Volumen unitario de roca o sedimento.

En la Tabla 2.2 se presentan los valores extremos de la porosidad, que dependen del tipo de material geológico y del grado de afectación física y química que ha sufrido. En general, los sedimentos de granulometría gruesa poco consolidados y con escasa cementación son los que presentan los valores máximos; mientras que las rocas ígneas o metamórficas con escaso fracturamiento, la mayoría de las veces, valores mínimos.

Por esta razón, en relación con el origen de la porosidad del material terrestre, se puede señalar que al momento en que se forma una roca o se acumula material granular (sedimentos), también se crea la porosidad.

Tabla 2.2. Resumen de porosidades.

Tipo de Material	Porosidad (%)
Materiales no consolidados	
Grava gruesa	28-12
Grava media	32-13
Grava fina	34-21
Arena con grava	39-20
Arena gruesa	35-20
Arena media	39-15
Arena fina	43-10
Arcilla arenosa	12-3
Materiales consolidados	
Arenisca	5-30
Caliza y dolomía	0-40
Caliza cárstica	0-40
Pizarras y lutitas	0-10
Basalto fracturado	5-50
Roca cristalina fracturada	0-10
Roca cristalina densa	0-5
Granito alterado	34-57

Fuente: Custodio (2001).

c. Coeficiente de almacenamiento:

Se define como el volumen de agua que un acuífero libera o incorpora al almacenamiento por unidad de superficie de acuífero y por unidad de cambio de potencial. Es igual al volumen de agua que sale del acuífero cuando el nivel piezométrico disminuye un metro. Es coeficiente de almacenamiento es adimensional y se expresa como:

$$S = g \cdot d \cdot (m_{ef} \cdot \beta_{liq} + \beta_{roca}) \quad (2.3)$$

donde:

g : Aceleración de la gravedad,

d : Espesor del acuífero,

m_{ef} : Porosidad eficaz,

$\beta_{liq}, \beta_{roca}$: Coeficientes de compresibilidad del agua y de la roca.

2.1.4. Ecuaciones que gobiernan el flujo subterráneo

El proceso del flujo subterráneo está regido por las relaciones expresadas mediante la ley de Darcy y la conservación de masa de un fluido o un soluto. A partir de un determinado volumen representativo del medio poroso (véase la Figura 2.2), la ecuación general de la conservación de la masa para ese volumen se expresa según:

$$(\text{Caudal de masa que entra}) - (\text{Caudal de masa que sale}) + (\text{Caudal de producción de masa/consumo de masa}) = (\text{Caudal de masa acumulada})$$

Citados por Fetter (1989), Bear (1997), Domenico y Schwartz (1998) y Freeze y Cherry (1979), sostuvieron que esta ecuación de la conservación de masa (o ecuación de continuidad) puede combinarse con una expresión matemática del proceso relevante, para obtener una ecuación diferencial que describa el flujo y el transporte.

Consideraciones:

- El acuífero es homogéneo e isotrópico.
- El fluido se mueve solo en una dirección a través del volumen de control.

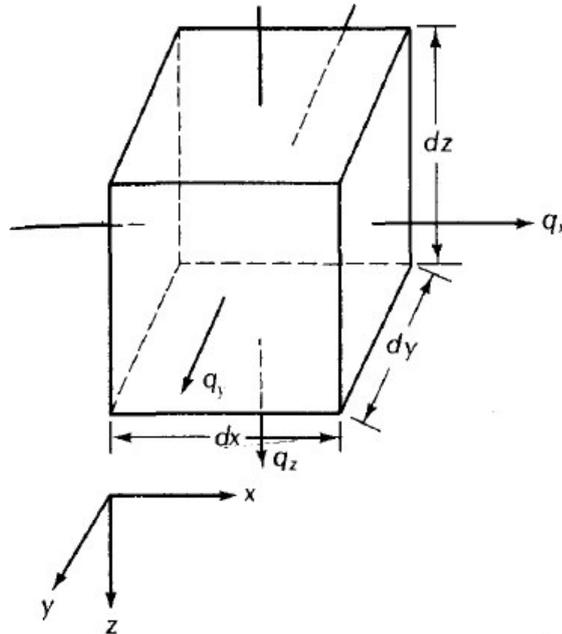


Figura 2.2. Volumen de control parte de un acuífero, Fuente: Fetter, (1989).

- La densidad del fluido es constante ρ .
- La masa del flujo dentro del volumen de control es; $\rho q_x(d_y d_z)$ es a lo largo del eje X.

Entonces, la masa que ingresa al volumen de control en el eje X sería:

$$\rho q_x(d_y d_z) \quad (2.4)$$

La masa que sale del volumen de control para el eje X:

$$\rho q_x(d_y d_z) + \frac{\partial(\rho q_x)}{\partial x} d_x d_y d_z \quad (2.5)$$

De modo similar, para el eje Y:

$$\rho q_y(d_x d_z) \quad (2.6)$$

$$\rho q_y(d_x d_z) + \frac{\partial(\rho q_y)}{\partial y} d_y d_x d_z \quad (2.7)$$

Por último, en el eje Z:

$$\rho q_z(d_x d_y) \quad (2.8)$$

$$\rho q_z(d_x d_y) + \frac{\partial(\rho q_z)}{\partial z} d_z d_x d_y \quad (2.9)$$

Combinando las ecuaciones (2.4) a (2.9), se tiene:

$$-\left(\frac{\partial(\rho q_x)}{\partial x} + \frac{\partial(\rho q_y)}{\partial y} + \frac{\partial(\rho q_z)}{\partial z}\right) (d_x d_y d_z) \quad (2.10)$$

El volumen de agua dentro del volumen de control es igual a:

$$\eta (d_x d_y d_z) \quad (2.11)$$

La masa inicial de agua es:

$$\rho \eta (d_x d_y d_z) \quad (2.12)$$

Mientras que el volumen del material sólido es:

$$(1 - \eta)(d_x d_y d_z) \quad (2.13)$$

Y la ecuación general que representa el cambio de masa de agua M en el tiempo:

$$\frac{\partial}{\partial t}(M) = \frac{\partial}{\partial t}(\rho \eta d_x d_y d_z) \quad (2.14)$$

Los cambios de presión dentro del volumen de control, la densidad del fluido y la porosidad del acuífero están sujetos a variaciones. Esta variación se define con la siguiente ecuación:

$$\beta_{liq} dP = \frac{d\rho}{\rho} \quad (2.15)$$

Como el acuífero también es susceptible de estar sometido a cambios de presión, se asumen cambios en la vertical (eje Z). Así, la compresibilidad del acuífero (α) será;

$$\alpha dP = \frac{d(d_z)}{d_z} \quad (2.16)$$

Como el acuífero puede comprimirse o expandir pero solo se considerará el volumen de los sólidos (V_s) constante, así como solo una deformación en el eje Z, esto se podrá definir con:

$$dV_s = 0 = d[(1 - \eta)(d_x d_y d_z)] \quad (2.17)$$

$$d_n = \frac{(1-\eta)d(d_z)}{d_z} \quad (2.18)$$

En tanto, los cambios de presión en el acuífero serán:

$$dP = P_0 + \rho gh \quad (2.19)$$

donde:

P_0 : Presión atmosférica,

g : Aceleración de la gravedad.

De las ecuaciones (2.15) y (2.16) se obtiene:

$$d_n = (1 - \eta)\alpha\rho g dh \quad (2.20)$$

Considerando que los cambios en dx y dy son constantes, la ecuación (2.14) puede expresarse en:

$$\frac{\partial}{\partial t}(M) = \left[\rho\eta \frac{\partial(d_z)}{\partial t} + \rho d_z \frac{\partial\eta}{\partial t} + \eta d_z \frac{\partial\rho}{\partial t} \right] d_x d_y \quad (2.21)$$

Por último, la ecuación general del movimiento de flujo de agua subterránea se establecerá con:

$$-\left[\frac{\partial(q_x)}{\partial x} + \frac{\partial(q_y)}{\partial y} + \frac{\partial(q_z)}{\partial z} \right] \rho d_x d_y d_z = (\alpha\rho g + \eta\beta\rho g)\rho d_x d_y d_z \frac{\partial h}{\partial t} \quad (2.22)$$

Luego, aplicándose la Ley de Darcy, el caudal de agua a través del volumen de control en un medio poroso, se relaciona con las propiedades del agua, las propiedades del medio poroso y el gradiente del nivel piezométrico. Es decir:

$$q = -k \left(\frac{\partial h}{\partial x} \right) \quad (2.23)$$

donde:

q : Flujo, LT^{-1} ,

k : Conductividad hidráulica del medio poroso, LT^{-1} ,

h : Nivel piezométrico, L.

A partir de la combinación de la Ley de Darcy con la ecuación general del flujo de agua subterránea (Ec. 2.22), se puede obtener una forma general de la ecuación que describe el flujo transitorio de un fluido compresible en un acuífero heterogéneo y anisótropo. Y esto podría expresarse con la siguiente notación tensorial cartesiana:

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(k \cdot \frac{\partial h}{\partial x} \right) = Ss \cdot \frac{\partial h}{\partial t} + W \quad (2.24)$$

Donde:

Ss : Almacenamiento específico, L^{-1} ,

t : Tiempo, T,

W : Flujo volumétrico por unidad de volumen (positivo cuando el flujo va hacia afuera y negativo cuando el flujo va hacia el interior), T^{-1} ,

x : Son las coordenadas cartesianas, L.

La suma de los análisis cartesianos con tensores es la que aparece en las ecuaciones anteriores, y se aplican por lo general cuando dominan las condiciones isotérmicas. Con ellos se determina que el medio poroso solo se deforma verticalmente, y que el volumen de los granos individuales permanece constante durante la deformación cuando se aplica la Ley de Darcy, y cuando las propiedades del fluido (densidad y viscosidad) son homogéneas y constantes. Las propiedades de los acuíferos podrán variar espacialmente; mientras que las tensiones de los fluidos (W), a nivel espacial y temporal.

Una expresión similar a la ecuación anterior se puede obtener para el flujo en dos dimensiones de un fluido homogéneo en un acuífero confinado, tal como se muestra en la siguiente fórmula:

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(T \cdot \frac{\partial h}{\partial x} \right) = S \cdot \frac{\partial h}{\partial t} + W \quad (2.25)$$

donde:

T : es la transmisividad, L^2T^{-1} ($T = K \cdot b$),

b : es el espesor saturado del acuífero, L ,

S : es el coeficiente de almacenamiento (adimensional),

$W = w \cdot b$ es el flujo volumétrico por unidad de área, LT^{-1} .

Cuando esta ecuación se aplica en un sistema acuífero no confinado (freático), se supone que el flujo es horizontal y que las líneas equipotenciales son verticales, así como que el gradiente hidráulico horizontal es igual a la pendiente del nivel freático, y que el coeficiente de almacenamiento es igual al almacenamiento específico (S_y). En tanto que en un sistema no confinado, el grosor saturado varía cuando cambia la profundidad del nivel freático. Así, la transmisividad también puede cambiar a lo largo del tiempo y del espacio (esto es: $T = K \cdot b$; $b(x, y, t) = h - h_b$, en donde ' h_b ' es la elevación de la parte inferior del acuífero).

2.1.5. Ecuación para el cálculo del espaciamiento de drenes

En el diseño de un sistema de drenaje, uno de los factores más importantes es el espaciamiento de los drenes. Para calcular este espaciamiento, diversos investigadores han desarrollado fórmulas, basándose en los principios de flujo de agua subterránea. El desarrollo de una fórmula solo es posible si se asumen diferentes condiciones limitantes y se realizan simplificaciones. Es por ello que, en cada caso, se justifica el uso de una fórmula específica, cuando las suposiciones adoptadas en su derivación están de acuerdo con la realidad del caso. Según las hipótesis establecidas, las fórmulas para el subdrenaje se pueden agrupar en:

- Fórmulas de régimen permanente o estacionario.
- Fórmulas de régimen no permanente o no estacionario.

En las fórmulas de régimen permanente, la recarga de agua (R) a un área es constante, mientras que la salida de agua (Q) por el sistema de drenaje también es constante e igual que la recarga, permaneciendo la tabla de agua en forma estacionaria. Este estado ocurre por lo general en zonas húmedas, donde la precipitación es más o menos constante durante un largo período y sus fluctuaciones no son amplias. Entre los investigadores que han desarrollado fórmulas para este tipo de régimen, se pueden mencionar a: Donnan, Hooghoudt, Ernst, Kirkam, Toksoz, Dagan y otros.

En las de régimen no permanente, se supone que la recarga de agua (R) en un área no es constante, lo mismo que la salida de agua (Q) por el sistema de drenaje, e incluso cuando la descarga es menor que la recarga. Eso ocasiona la elevación del nivel freático mientras dure la recarga para luego ir descendiendo y, posteriormente, volver a elevarse al comenzar el próximo riego o lluvia. Este estado ocurre en zonas con altas intensidades de lluvia. Entre los principales investigadores que desarrollaron fórmulas para el régimen no permanente se tienen a: Glover-Dumm, Knaijenhoff van de Leur Maasland, Jenab y otros.

En los sistemas de drenaje, el flujo de agua se descompone en tres formas: flujo horizontal, flujo vertical y flujo radial. La predominancia de un flujo sobre otro depende de la profundidad a la cual se encuentra la capa impermeable con respecto al nivel de los drenes, con lo que el flujo vertical es por lo general despreciable con respecto a los otros flujos.

La ecuación de drenaje para el régimen permanente que será utilizada en la presente investigación es la Donnan.

- **Fórmula de Donnan:**

Es la típica para el drenaje en su caso más simplificado, cuando la conductividad hidráulica en cualquier parte del perfil del suelo es la misma y los drenes alcanzan la capa impermeable.

En este caso, véase la Figura 2.3, los puntos de partida considerados son los siguientes:

- El flujo hacia los drenes es permanente.
- El flujo es solo horizontal.
- El suelo es más o menos homogéneo en toda su profundidad, hasta la capa freática.
- Hay un sistema de drenes paralelos infinitos en ambas direcciones.
- La recarga es distribuida de modo uniforme.

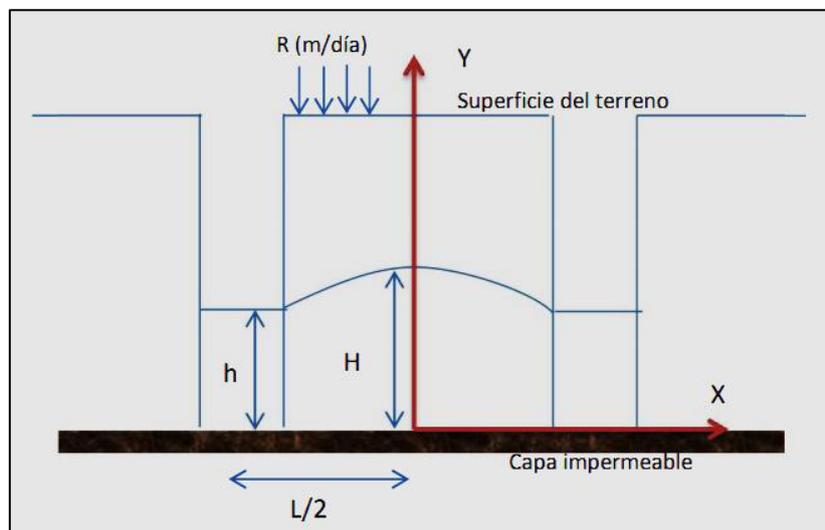


Figura 2.3. Parámetros de la fórmula de Donnan, Fuente: Veliz, (2010).

Para determinar la ecuación de flujo, se toma como ecuación base la Ley de Darcy, teniéndose lo siguiente:

$$-k y \frac{\partial y}{\partial x} = q_x \quad (2.26)$$

Integrando y tomando como límites: $x = 0$ a $x = L/2$; $y = H$ a $y = h$

$$-K \int_{y=H}^{y=h} y \partial y = R \int_{x=L/2}^{x=0} x \partial x \quad (2.27)$$

$$-\frac{1}{2} k (x^2 - x^2) = \frac{1}{2} R \left(\frac{L}{2}\right)^2 \quad (2.28)$$

$$R = q = \frac{4 K (H^2 - h^2)}{L^2} \quad (2.29)$$

Donde:

L: Espaciamiento de los subdrenes (m).

R: Recarga por unidad de superficie (m/día).

q: Descarga de los drenes por unidad de superficie (m/día).

K: Conductividad hidráulica del suelo (m/día).

H: Distancia de la napa freática en el punto medio entre los drenes hasta la capa impermeable (m).

h: Distancia desde la superficie del agua en la zanja o el tubo de drenaje hasta la capa impermeable (m).

2.2. Métodos Numéricos

Hay muchos problemas prácticos en la ingeniería que no tienen una solución exacta, y que se puede atribuir a la complejidad natural de las ecuaciones diferenciales o a las dificultades que pueden ocurrir con las condiciones de contorno o iniciales. Para tratar este tipo de problemas, se usan las aproximaciones numéricas.

El primer paso en cualquier procedimiento numérico es la discretización del área de estudio. Este proceso divide el medio de interés en un número de

pequeñas subregiones y nodos (véase la Figura 2.4).

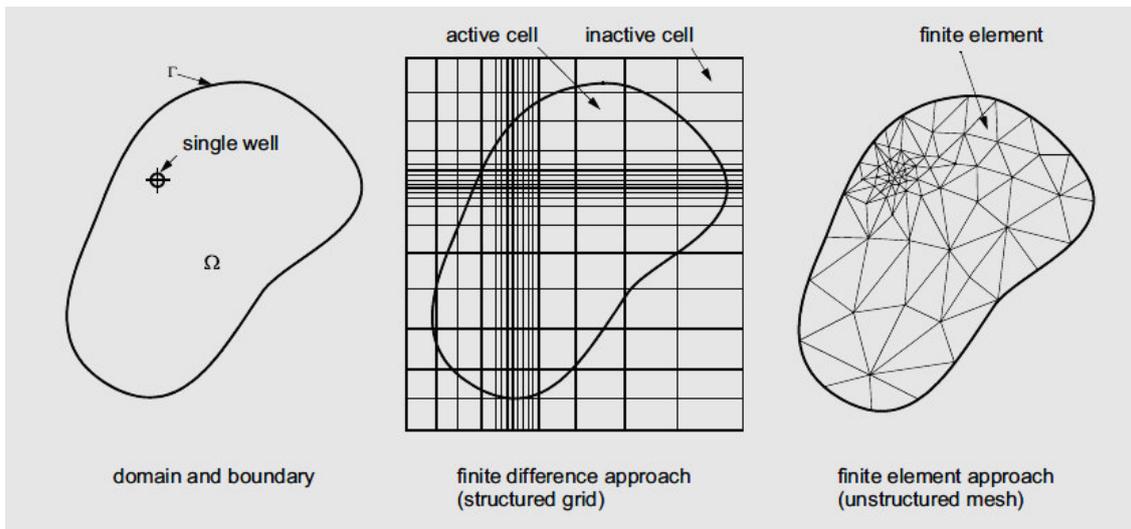


Figura 2.4. Ejemplo de dominios 2D en diferencias y elementos finitos, Fuente: Diersch, (2014).

Hay dos clases de métodos numéricos: (a) el método de las diferencias finitas y (b) el método de los elementos finitos. Con el método de las diferencias finitas, la ecuación diferencial es descrita para cada nodo y las derivadas son reemplazadas por ecuaciones diferenciales; con ello se logra un conjunto de ecuaciones lineales simultáneas. En contraste, el método de los elementos finitos usa formulaciones integrales y no ecuaciones diferenciales, creando un sistema de ecuaciones algebraicas.

El modelo escogido y aplicado en la presente tesis es el FEFLOW, que son códigos para el modelado numérico de agua subterránea, y es el más sofisticado que existe. El programa proporciona un avanzado entorno de modelaje basado en gráficos 2D y 3D (véase la Figura 2.5), para realizar flujos complejos de aguas subterráneas, transporte de contaminantes y modelado de transporte de calor.

Su entorno permite el uso de un *software* de modelado de aguas subterráneas que combina con éxito potentes características gráficas, y permite el uso de sofisticadas herramientas de análisis de algoritmos numéricos, que ofrecen soporte en los casos de:

- Flujo que depende de la densidad (intrusión de agua salada).
- Flujo en estado estacionario y transitorio.
- Flujo saturado y no saturado.
- Múltiples superficies libres (nivel de agua).
- Transporte de masa y calor.

Las herramientas gráficas del *software* también permiten la creación de mallas de elementos finitos y la asignación de propiedades y condiciones de frontera. Además, contempla una interfaz de datos ArcInfo –para la importación de datos–y rutinas de interpolación, considerando técnicas de solución y algoritmos numéricos que permiten la interpretación de datos en tiempo real y la visualización con la técnica en tres dimensiones.

2.2.1. Fundamentos del método de elementos finitos

El método de elementos finitos (MEF) es una técnica de análisis numérico para obtener soluciones de un gran número de problemas en física e ingeniería.

Existen cuatro aproximaciones diferentes para formular el MEF, que son: el método directo, el método variacional, el método de residuos ponderados y el método del balance de la energía (Huebner, 1975). En los problemas de agua subterránea el método que es más habitual es el de los residuos ponderados o el variacional.

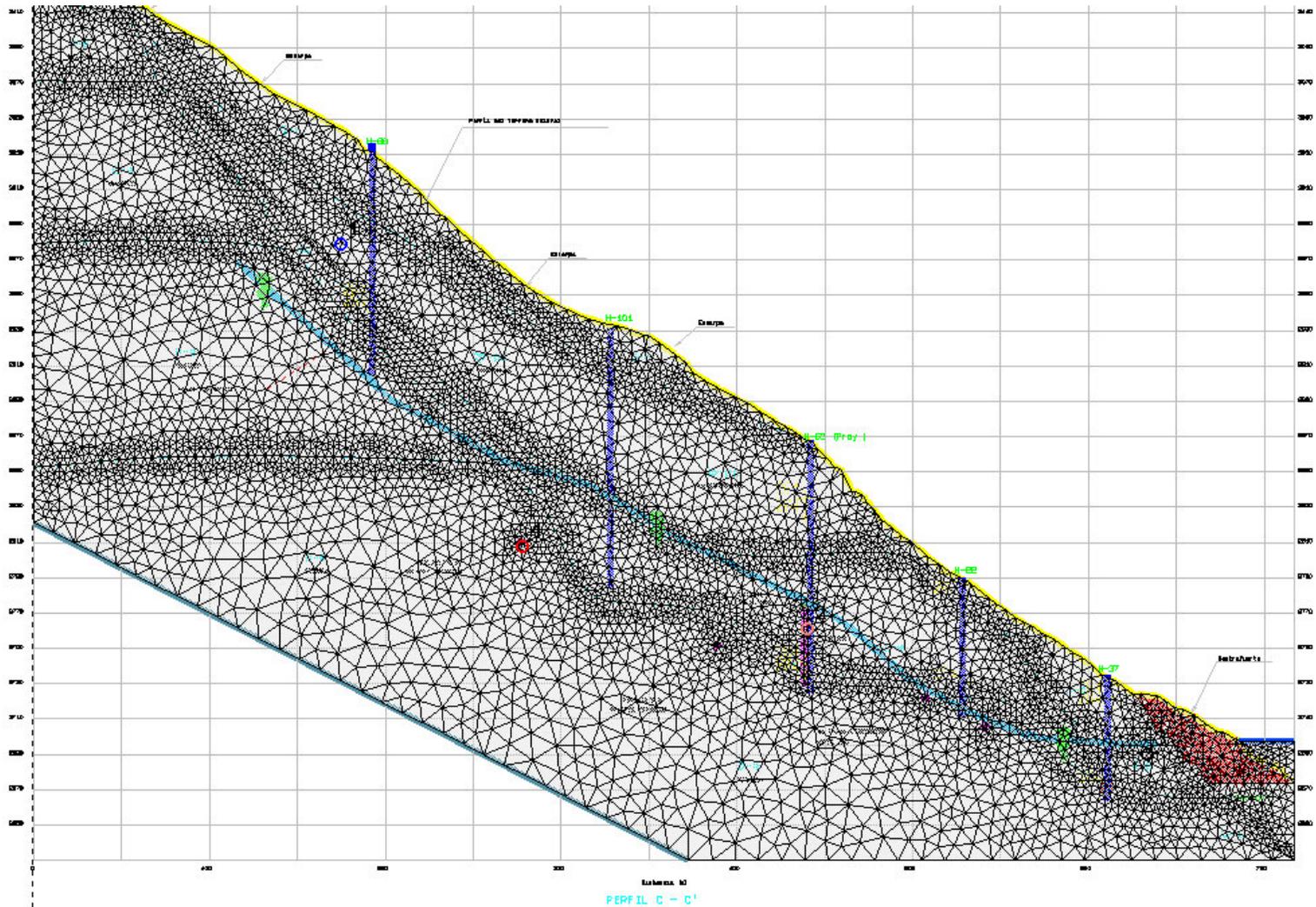


Figura 2.5. Discretización del área en estudio en elementos 2D lineales.

Definido el dominio del modelo numérico (área de trabajo), su discretización es representada mediante una malla ortogonal (para el caso de método de diferencias finitas), o por una malla de elementos 3D (elementos finitos), donde un grado de resolución espacial mayor, determinará la precisión y convergencia de la solución, más el esfuerzo o tiempo computacional.

Como se mencionan en diversas fuentes bibliográficas –como el Finite Element Modeling of Flow (FEFLOW), y el Mass and Heat Transport in Porous and Fractured Media de Diersch (2014)– y es de conocimiento generalizado, el uso de una malla de elementos finitos proporcionan mayor flexibilidad y mejores ventajas frente a una malla con diferencias finitas (véanse las figuras 2.6 y 2.7).

Los tamaños de los elementos deben ser lo suficientemente pequeños para representar todas las características de interés, manteniendo un refinamiento suavizado en locales de importancia. Se recomienda iniciar con una malla relativamente gruesa y luego ir refinando hasta alcanzar resultados estables y la precisión requerida. Sin embargo, debe advertirse que una malla muy refinada no alterará en forma significativa los resultados ni, más aún, acrecentará en gran medida el esfuerzo computacional.

El método de elementos finitos emplea el concepto de la «aproximación por piezas». El dominio del problema es la extensión del acuífero que se quiere simular, y que se divide en un sistema de elementos o piezas.

Los elementos teóricamente pueden tener formas y tamaños diferentes. La mayoría de los programas de ordenador del MEF utiliza un único tipo de elemento, por lo general el triangular o el cuadrilátero; en el caso del modelo FEFLOW, aplica ambas mallas.

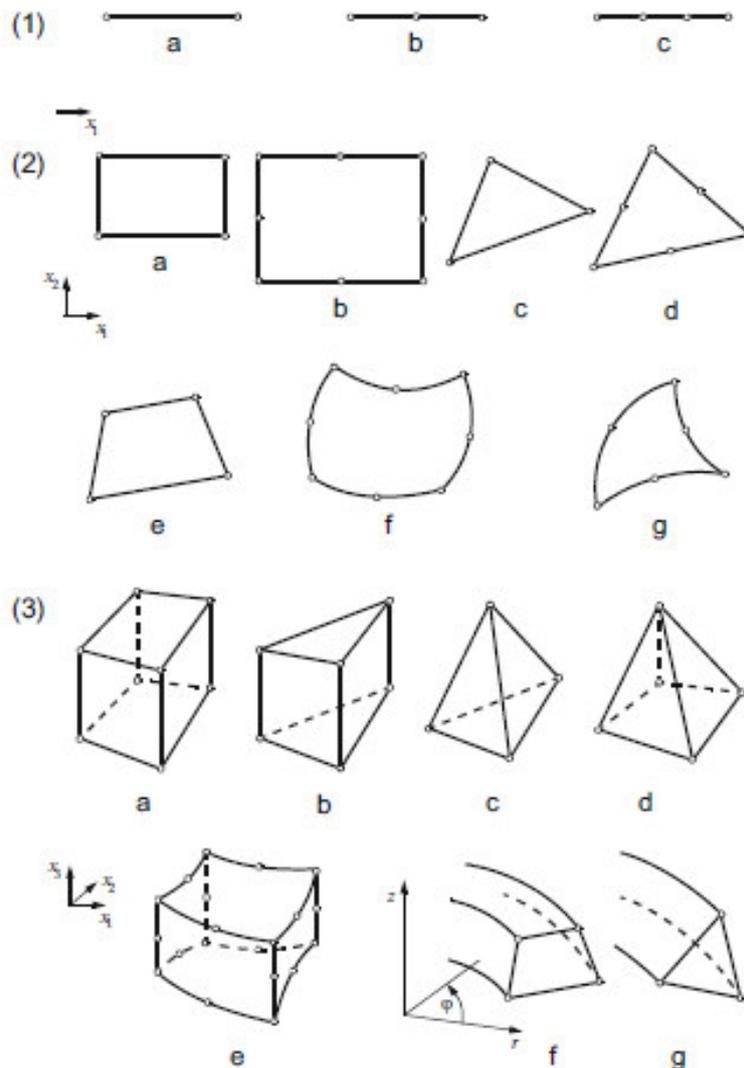


Fig. 8.6 Overview of commonly used finite elements. (1) 1D elements: (a) linear, (b) quadratic, (c) cubic; (2) 2D elements: (a) linear rectangular, (b) quadratic rectangular, (c) linear triangular, (d) quadratic triangular, (e) linear quadrilateral, (f) quadratic curved quadrilateral, (g) quadratic curved triangular; (3) 3D elements: (a) linear quadrilateral prism (hexahedron), (b) linear triangular prism (pentahedron), (c) linear tetrahedron, (d) linear pyramid, (e) quadratic curved hexahedron, (f) axisymmetric linear rectangular ring, (g) axisymmetric linear triangular ring (Modified from [76])

Figura 2.6. Tipos de elementos finitos en 1D, 2D y 3D, Fuente: Diersch, (2014).

Otros modelos como el MODFE (Cooley, 1992), utilizan elementos triangulares; y el SUTRA (Voss, 1984), cuadriláteros. Los valores puntuales de la variable de estado se calculan en cada nodo, que representan los vértices de

los elementos, y utilizándose una ecuación sencilla para describir el valor de la variable de estado dentro del elemento. A esta ecuación se denomina 'función base', ya que cada nodo perteneciente a un elemento posee una función base asociada. Las funciones base más sencillas utilizadas son las lineales.

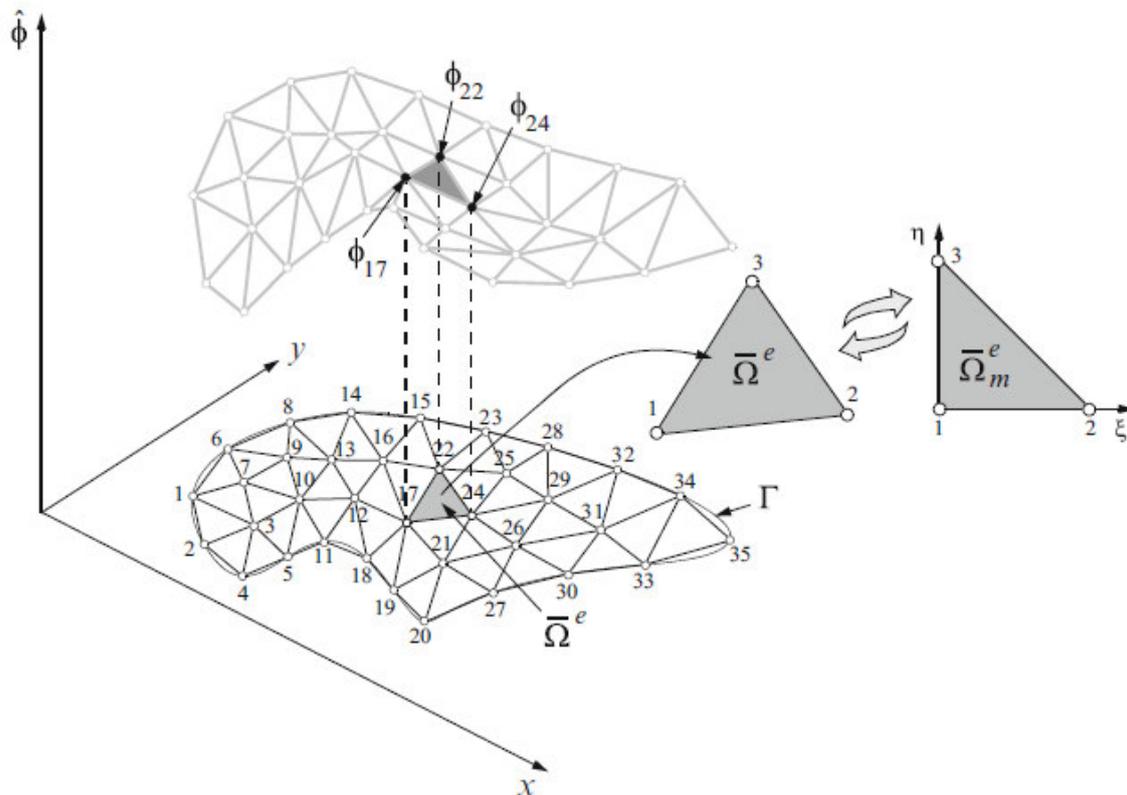


Figura 2.7. Elemento 2D triangular, Fuente: Diersch, (2014).

De las ecuaciones (2.24) y (2.25), desarrolladas para el flujo en medios porosos, es imperativo considerar los flujos de entrada y salida a través de un volumen de control representativo del dominio (REV, por sus siglas en inglés). Según lo anterior, la ecuación de balance de masas en combinación con la Ley de Darcy quedaría del modo siguiente:

$$S_s \frac{\partial h}{\partial t} + \nabla \cdot q = Q \quad (2.30)$$

$$q = -K \cdot \nabla h \quad (2.31)$$

Las que han sido resueltas para una carga hidráulica h , para posteriormente estimar la velocidad de Darcy, donde S_s es el coeficiente de almacenamiento específico, K es el tensor de conductividad hidráulica y Q es una función general pudiendo ser una fuente/sumidero. Usualmente, q es substituido por la ecuación de Darcy para obtener la ecuación gobernante de tipo Richards (Diersch, 2014), en la forma:

$$S_s \frac{\partial h}{\partial t} + \nabla \cdot (K \cdot \nabla h) = Q_h + Q_{hw} \quad (2.32)$$

Donde el término fuente/dren $Q = Q_h + Q_{hw}$ es dividido en dos partes:

Q_h : Como fuente de recarga (precipitación).

Q_{hw} : Como fuente pozo (extracción y/o inyección).

La ecuación diferencial parcial, Ec. (2.30), debe ser resuelta para la variable h bajo las condiciones de contorno de tipo Dirichlet, Neumann, Cauchy, y de tipo pozo (véase la Figura 2.8).

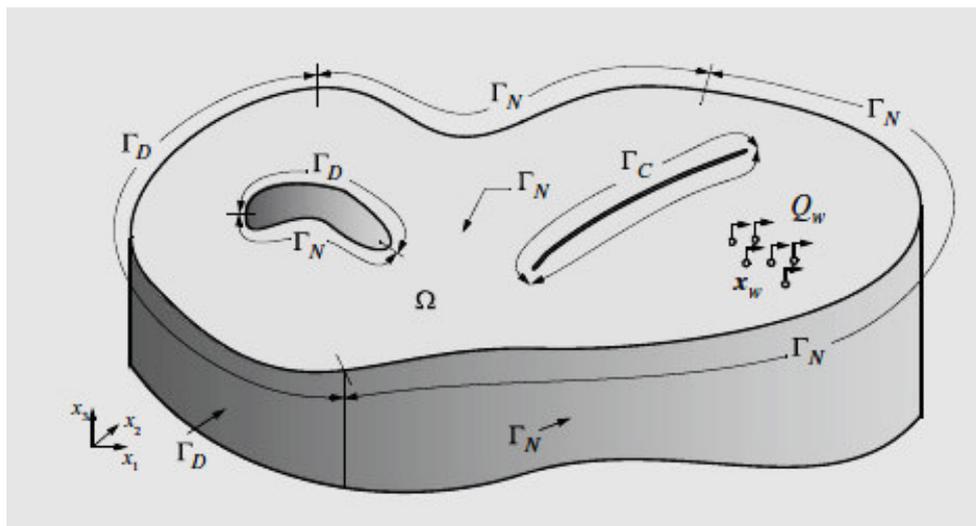


Figura 2.8. Esquema del dominio y condiciones de frontera, Fuente: Diersch, (2014).

$$h = h_D \quad \text{en } \Gamma_D \times t[t_0, \infty) \quad (2.33)$$

$$-(K \cdot \nabla h) \cdot n = q_h \quad \text{en } \Gamma_N \times t[t_0, \infty) \quad (2.33)$$

$$-(K \cdot \nabla h) \cdot n = -\phi_h(h_c - h) \quad \text{en } \Gamma_C \times t[t_0, \infty) \quad (2.34)$$

$$Q_{hw} = -\sum_w Q_w(t) \delta(x - x_w) \quad \text{en } x_w \in \Omega \times t[t_0, \infty) \quad (2.35)$$

donde:

h_D : Es la carga hidráulica conocida impuesta en el contorno Dirichlet Γ_D .

q_h : Es el flujo conocido impuesto en el contorno Neumann Γ_N y

$-\phi_h(h_c - h)$: Es la condición de transferencia de flujo, la cual depende de la carga hidráulica estimada h_c , y de referencia en el contorno Cauchy, Γ_C .

Para análisis en régimen transitorio es necesario partir de una condición inicial h_0 .

$$h(x, t_0) = h_0(x) \quad \text{en } \bar{\Omega}_0 \quad (2.36)$$

El contorno total del dominio sería dado por $\Gamma = \Gamma_D + \Gamma_C + \Gamma_N$. Una vez que la carga hidráulica haya sido resuelta, la variable secundaria (velocidad de Darcy), $q = -K \cdot \nabla h$, podría ser evaluada como una cantidad derivada de la carga hidráulica h , donde los principales parámetros para resolver son: conductividades $[K_{xx}]$, $[K_{yy}]$ y $[K_{zz}]$, precipitación, rendimiento específico, coeficiente de almacenamiento, fuentes o drenes, coeficiente de transferencia-infiltración/ex filtración, y propiedades no saturadas.

Las ecuaciones básicas para flujo en acuífero no confinado y confinado en un medio continuo saturado, son:

$$(bS_s + \varepsilon_e) \frac{\partial h}{\partial t} - \nabla \cdot (bK \cdot \nabla h) = \bar{Q}_h + \bar{Q}_{hw} \quad (2.37)$$

$$S_s \frac{\partial h}{\partial t} - \nabla \cdot (T \cdot \nabla h) = \bar{Q}_h + \bar{Q}_{hw} \quad (2.38)$$

Para los casos de un acuífero no confinado o confinado, la Ec. (2.37), el espesor saturado b , varía en función de la carga hidráulica estimada $b = h - f^b$ (véase Figura 2.8) y el término de coeficiente de almacenamiento aparece como $S = \varepsilon\varepsilon + bS_s$, siendo que la porosidad efectiva $\varepsilon\varepsilon$, podría ser aproximada al rendimiento específico S_y , según Bear (1977). En el caso de un acuífero confinado, Ec. (2.38), la espesura saturada $b = f^T - f^b$ es constante (véase la Figura 2.9), y el término de almacenamiento es reducido para $S = S_{sb}$.

En general, la formulación de los elementos finitos se basa en el método de Galerkin, para resolver las ecuaciones (2.37) y (2.38), asociados a condiciones de contorno iniciales (datos de campo).

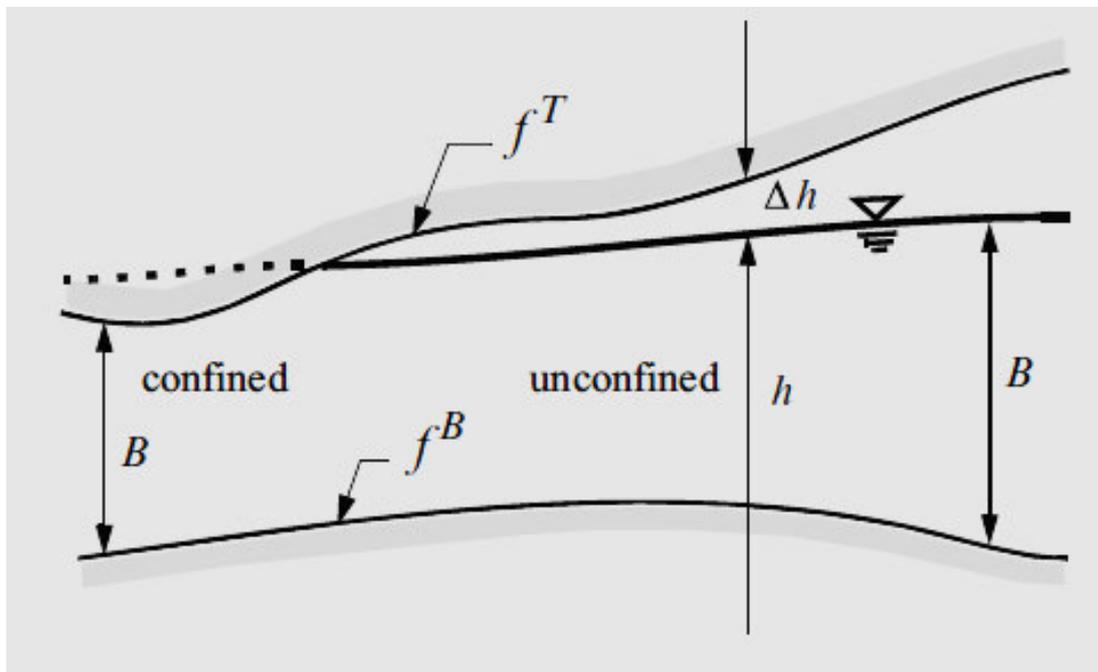


Figura 2.9. Esquema del dominio y condiciones de contorno, Fuente: Diersch, (2014).

De acuerdo con lo anterior, en su forma variacional, se obtiene la siguiente ecuación:

$$\int_{\Omega} w S_s \frac{\partial h}{\partial t} d\Omega + \int_{\Omega} \nabla w \cdot (K \cdot \nabla h) d\Omega - \int_{\Omega} w (Q_h + Q_{wh}) d\Omega - \int_{\Gamma} w (K \cdot \nabla h) \cdot n d\Gamma = 0, \quad \forall w \in H^1(\Omega) \quad (2.39)$$

donde:

w: es la función de ponderación del método de Galerkin.

Respecto a la función de la carga hidráulica, se aproxima con:

$$h(x, t) \approx \sum_j N_j(x) h_j(t), \quad j = 1, \dots, N_p \quad (2.40)$$

La formulación del método de los elementos finitos basada en el método de Galerkin tiene la siguiente fórmula:

$$\begin{aligned} & \sum_e \int_{\Omega^e} N_i S_s^e \frac{\partial}{\partial t} (\sum_j N_j h_j) d\Omega^e + \sum_e \int_{\Gamma_S^e} N_i \varepsilon_e^e \frac{\partial}{\partial t} (\sum_j N_j h_j) d\Gamma_S^e + \sum_e \int_{\Omega^e} \nabla N_i \cdot [K^e \cdot \nabla (\sum_j N_j h_j)] d\Omega^e - \\ & \sum_e \int_{\Omega^e} N_i Q_h^e d\Omega^e + Q_w(t) \Big|_i + \sum_e \int_{\Gamma_N^e} N_i q_h^e d\Gamma^e - \sum_e \int_{\Gamma_C^e} N_i \phi_h^e [h_C^e - (\sum_j N_j h_j)] d\Gamma^e - \sum_e \int_{\Gamma_S^e} N_i P^e d\Gamma^e = \\ & 0, \quad 1 \leq i, j \leq N_p \end{aligned} \quad (2.41)$$

Luego, para la matriz de rigidez global, se usa el proceso de montaje, por medio de la contribución de todos los elementos finitos discretizados espacialmente, resultando así, de modo simplificado:

$$O \cdot \dot{h} + C \cdot h - F = 0 \quad (2.42)$$

siendo:

$$h = \begin{pmatrix} h_1 \\ h_1 \\ \vdots \\ h_{N_P} \end{pmatrix}, \quad \dot{h} = \begin{pmatrix} \frac{dh_1}{dt} \\ \frac{dh_2}{dt} \\ \vdots \\ \frac{dh_{N_P}}{dt} \end{pmatrix} \quad (2.43)$$

Donde O, C y F representan las matrices y vectores de la Ec. (2.42).

$$O = O_{ij} = \sum_e \left(\int_{\Omega^e} S_s^e N_i N_j d\Omega^e + \int_{\Gamma_s^e} \varepsilon_s^e N_i N_j d\Gamma^e \right) \quad (2.44)$$

$$C = C_{ij} = \sum_e \left(\int_{\Omega^e} \nabla N_i \cdot (K^e \cdot \nabla N_j) d\Omega^e + \int_{\Gamma_c^e} \phi_h^e N_i N_j d\Gamma^e \right) \quad (2.45)$$

$$F = F_i = \sum_e \left(\int_{\Omega^e} N_i Q_h^e d\Omega^e + \int_{\Gamma_c^e} N_i \phi_h^e h_c^e d\Gamma^e - \int_{\Gamma_N^e} N_i q_h^e d\Gamma^e + \int_{\Gamma_s^e} N_i P^e d\Gamma^e \right) - Q_w(t) \Big|_i \quad (2.46)$$

Para $(i, j = 1, \dots, N_P)$ y $(e = 1, \dots, N_E)$, siendo N_P el número de punto y N_E el número del elemento finito.

2.2.2. Condiciones iniciales y de contorno

Para obtener una solución única de las ecuaciones (2.40) a (2.46) en derivadas parciales, correspondiente a un determinado proceso físico, se necesita conocer más información sobre el estado físico del proceso. Esta información se obtiene a partir de las condiciones de contorno e iniciales.

Para los problemas estacionarios solo se necesitan las condiciones de contorno, mientras que para los problemas transitorios se deben especificar tanto las condiciones iniciales como las de contorno.

Las condiciones de contorno incluyen matemáticamente la geometría del contorno y los valores de la variable de estado o su derivada normal al contorno.

En términos físicos, las condiciones de contorno de los modelos de agua subterránea son por lo general de tres tipos:

- Valor especificado (nivel o concentración).
- Flujo especificado (que corresponde a un gradiente especificado del nivel o concentración).
- Flujo de valor dependiente (o condición de contorno mixta, en el que el flujo a través del contorno se relaciona con la derivada normal y con el valor).

De manera simple, las condiciones iniciales son los valores de las variables de estado que se fijan en cada punto del medio al inicio de la simulación.

Por lo general, las condiciones iniciales son la solución del problema que se está considerando pero en el estado estacionario. No obstante, si las condiciones iniciales se establecieran de tal manera que se produzca un flujo transitorio en el sistema al inicio de la simulación, es evidente que los niveles cambiarían durante la simulación, como consecuencia también de las condiciones iniciales.

De acuerdo a los contornos más comunes usados en el modelaje de aguas subterráneas en proyectos de gran envergadura, incluyen:

- Líneas divisorias de agua de la cuenca (representando líneas de flujo divergente).
- Valles (representando líneas de flujo convergente).
- Cuerpos de agua de gran volumen, tales como océanos, lagos, ríos (representando áreas con carga hidráulica conocida).
- Contornos geológicos, tales como contactos de roca impermeable y/o

fallas (representando características de gran escala en las cuales el comportamiento hidráulico es conocido o asumido).

- Condición de flujo nulo perpendicular a las líneas de flujo.

a. Condición de contorno tipo 1 o de Dirichlet:

$$h(x, t) = h_D(t) \text{ em } \Gamma_1 \times t[t_0, \infty) \quad (2.47)$$

El contorno de carga constante es una carga hidráulica que no cambia con el tiempo y no es afectada por el sistema de aguas subterráneas simuladas.

Normalmente, este tipo de condición se aplica para representar grandes masas de agua o cargas hidráulicas observadas en el campo, como la medición de elevación de la superficie freática (véase la Figura 2.10).

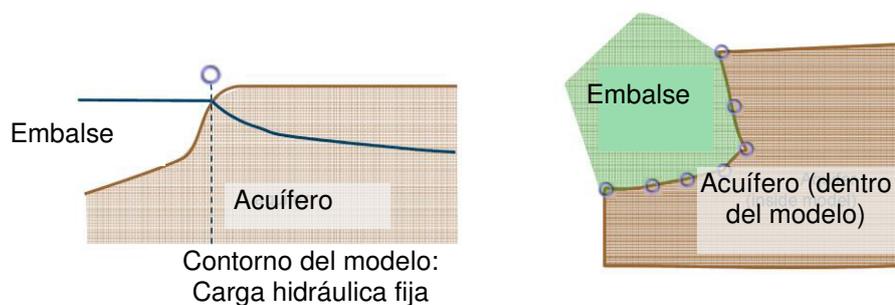


Figura 2.10. Condición de contorno tipo 1, Fuente: Wasy DHI, (2014).

- b. Condición de contorno tipo 2 o de Neumann:** Este tipo de condición de contorno se da a través de nodos, líneas y en la superficie, y puede tener variables de espacio y tiempo (véanse las figuras 2.11 y 2.12).

c. Condición de contorno tipo 3 o de Cauchy:

$$q_{n_h}(x, t) = [k_r K f_\mu \cdot (\nabla h + \chi e)] \cdot n = -\phi_h (h_c - h) \text{ en } \Gamma_3 \times t[h_c, \infty) \quad (2.48)$$

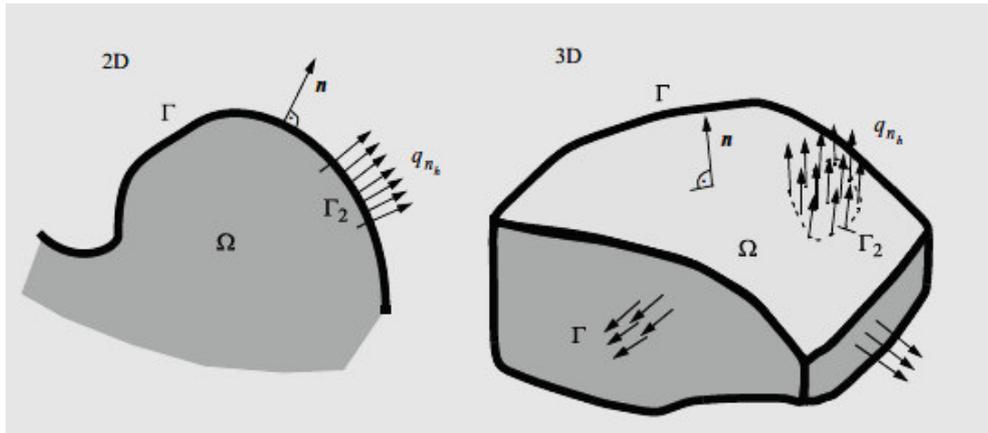


Figura 2.11. Condición de contorno tipo 2 para 2D y 3D, Fuente: Wasy DHI, (2014).

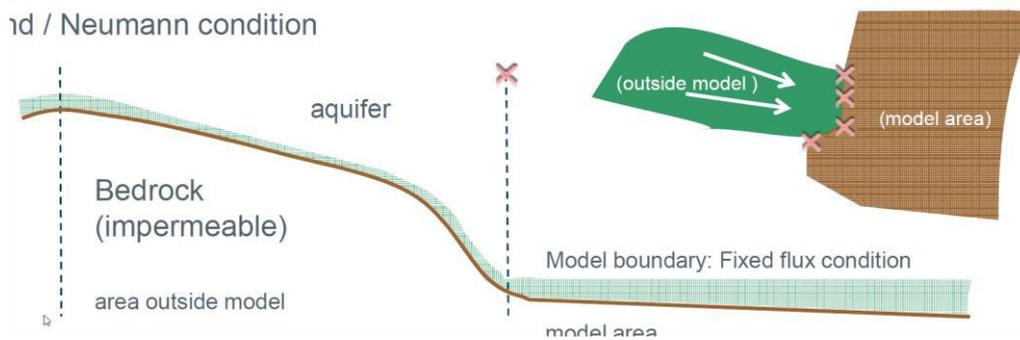


Figura 2.12. Condición de contorno tipo 2 para 2D y 3D, Fuente: Wasy DHI, (2014).

Es la condición de flujo dependiente de la carga hidráulica estimada y de la carga hidráulica de referencia. Es decir, el flujo es una función

específica que varía según la solución del problema modelado (véase la Figura 2.13).

La aplicación más común de este tipo de condición es para representar flujos de entrada o salida en ríos, que deben ser estudiados previamente.

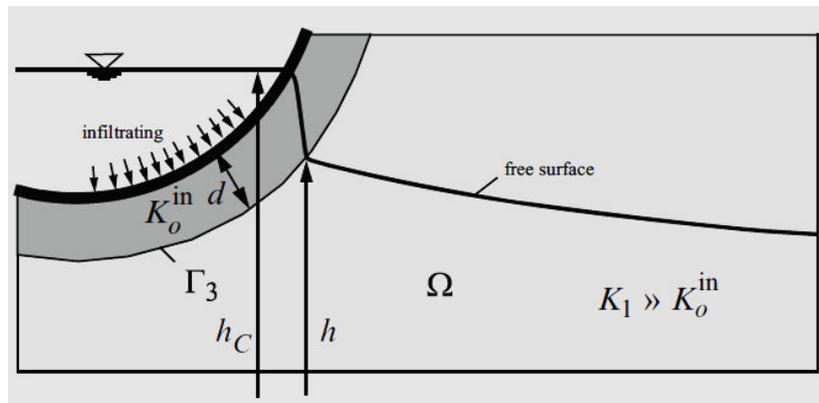


Figura 2.13. Condición de contorno tipo 3 – Infiltración, Fuente: Diersch, (2014).

La formulación de la condición de contorno tipo 3 se basa en la relación de transferencia entre el valor de la carga hidráulica de referencia (h_c observada, medida) en el contorno Γ_3 , y la carga hidráulica a ser estimada en el modelo numérico 'h', que contemplan los siguientes dos casos:

$$\phi_h = \begin{cases} \phi_h^{\text{in}}(x, t) & \text{para } h_c > h \\ \phi_h^{\text{out}}(x, t) & \text{para } h_c \leq h \end{cases} \quad (2.49)$$

- **Infiltración:** cuando la carga hidráulica de referencia (observada) es mayor que la carga hidráulica calculada o estimada en la misma posición.

d. Superficie libre: La superficie libre o nivel freático (presión atmosférica) es un contorno móvil en donde la carga hidráulica es igual a la carga de elevación (presión = 0 kPa) del contorno. Para el tratamiento y solución de este contorno, el modelo FEFLOW considera dos enfoques: el de malla fija y el de malla móvil (véase la Figura 2.14).

2.2.3. Diseño del modelo, desarrollo y aplicación

Al comienzo, se deberá formular un modelo conceptual (interpretación de la geología, geotecnia y la presencia del agua dentro de las masas geológicas), en el cual se deben evaluar los procesos significativos en el sistema estudiado.

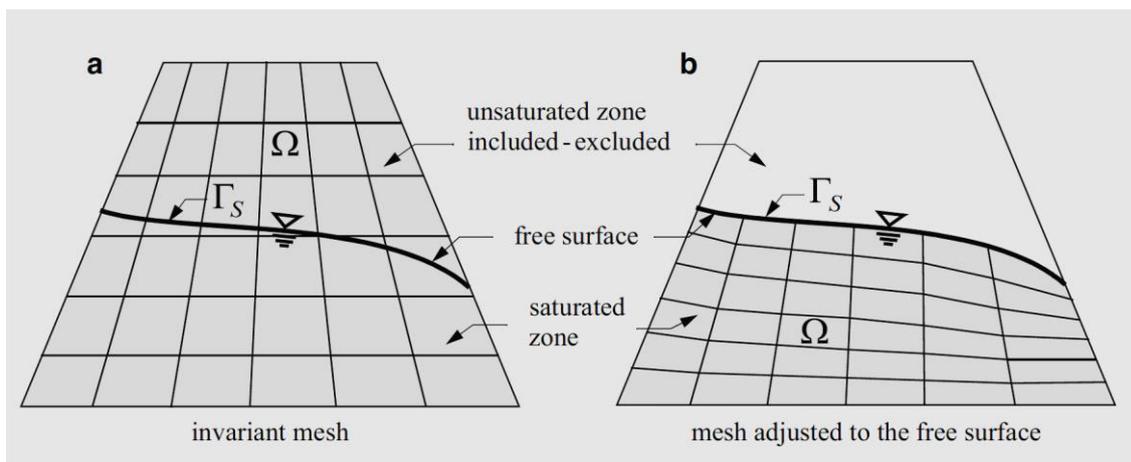


Figura 2.14. Condición de superficie libre, Fuente: Diersch, (2014).

Entre todos los procesos, hay algunos que son indispensables en una escala espacial y temporal determinada pero que en otras escalas pueden resultar irrelevantes. Por consiguiente, se deberá decidir la dimensión correcta del modelo numérico, tomando en cuenta un buen criterio para evaluar y sopesar compromisos entre la precisión y el costo en relación al modelo y a los datos.

Una vez definido el modelo conceptual, se debe elegir el código (o el modelo genérico) apropiado para resolver el problema en cuestión. Luego se

adaptará el código genérico a la zona o región que se quiera simular. El desarrollo de un modelo numérico determinista de parámetros distribuidos implica seleccionar o designar las mallas espaciales y los incrementos de tiempo que lleven a una solución precisa del sistema en cuestión.

En esta etapa, se deben especificar las propiedades del sistema, los esfuerzos realizados sobre aquel (la recarga), las condiciones de contorno, y las condiciones iniciales (para los problemas transitorios). Las especificaciones de los parámetros y de las condiciones de contorno son una parte importante del modelo conceptual del sistema realizado por el modelador, y el modelo numérico inicial lo refleja.

Un modelo es la aproximación de una realidad muy compleja, y se utiliza para simplificar esa realidad de manera que capte o represente las propiedades esenciales y los procesos relativos al problema en cuestión. La selección del modelo adecuado y del nivel de complejidad apropiado es puramente subjetiva, y depende del juicio y la experiencia del modelador, de los objetivos y del nivel de información previa de que se disponga sobre la zona de interés (véase la Figura 2.15).

2.2.4. Diseño de la malla

La dimensión del modelo debe elegirse durante la formulación del modelo conceptual. Si se selecciona un modelo unidimensional o bidimensional, se debe cumplir que la malla esté perfectamente alineada con el sistema de flujo, de manera que no haya flujo que entre o salga de la línea o del plano de la malla. Para minimizar las fuentes de error numérico, se ha de diseñar la malla del modelo utilizando la discretización espacial y temporal más fina posible, lo que provoca limitaciones en la memoria del ordenador y en el tiempo de ejecución. Los contornos de la malla también deben quedar alineados, con los límites hidrológicos y geológicos naturales del sistema de interés.

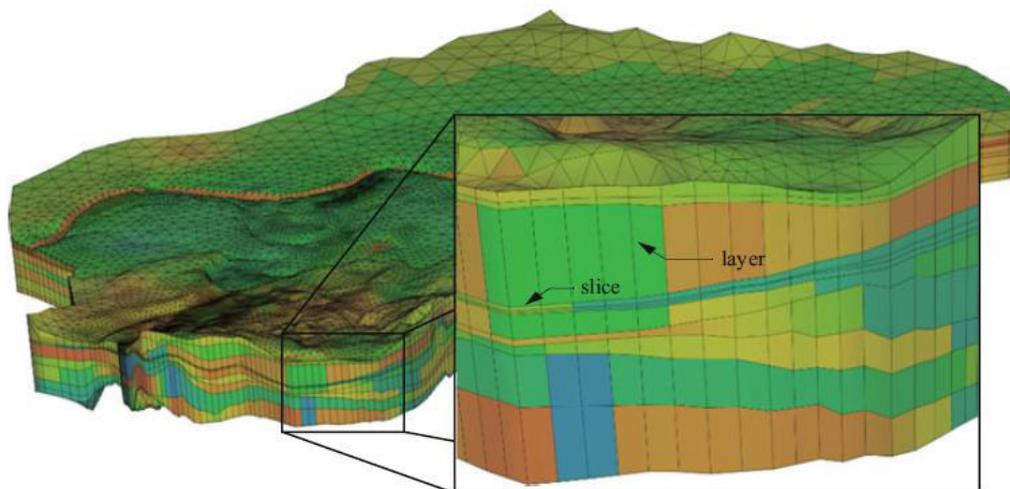


Figura 2.15. Diseño de la malla de un acuífero estructurado, Fuente: Diersch, (2014).

Para optimizar los recursos computacionales en un modelo, se recomienda utilizar una malla irregular (o con espaciado variable), que se discretice mucho más en aquellas zonas donde se acumulen las tensiones; es decir, donde los gradientes son mayores, donde haya más densidad de datos, donde el problema sea más crítico o se requiera una precisión numérica mayor. En general, no se puede diseñar una malla fija que esté siempre alineada con el campo de flujo (véase la Figura 2.16).

2.2.5. Calibración del modelo

Los modelos de agua subterránea deterministas imponen muchas restricciones a los datos experimentales para poder definir todos los parámetros en todos los nodos de una malla. Para determinar únicamente la distribución de los parámetros en un problema de campo, se necesitan muchos ensayos de campo; y estos rara vez se pueden realizar por problemas económicos (son muy costosos) o técnicos. Por este motivo, se dice que el modelo representa típicamente un intento por resolver de modo simultáneo un gran sistema de

ecuaciones superadas por el número de incógnitas. Por ello, la solución del problema no es única.

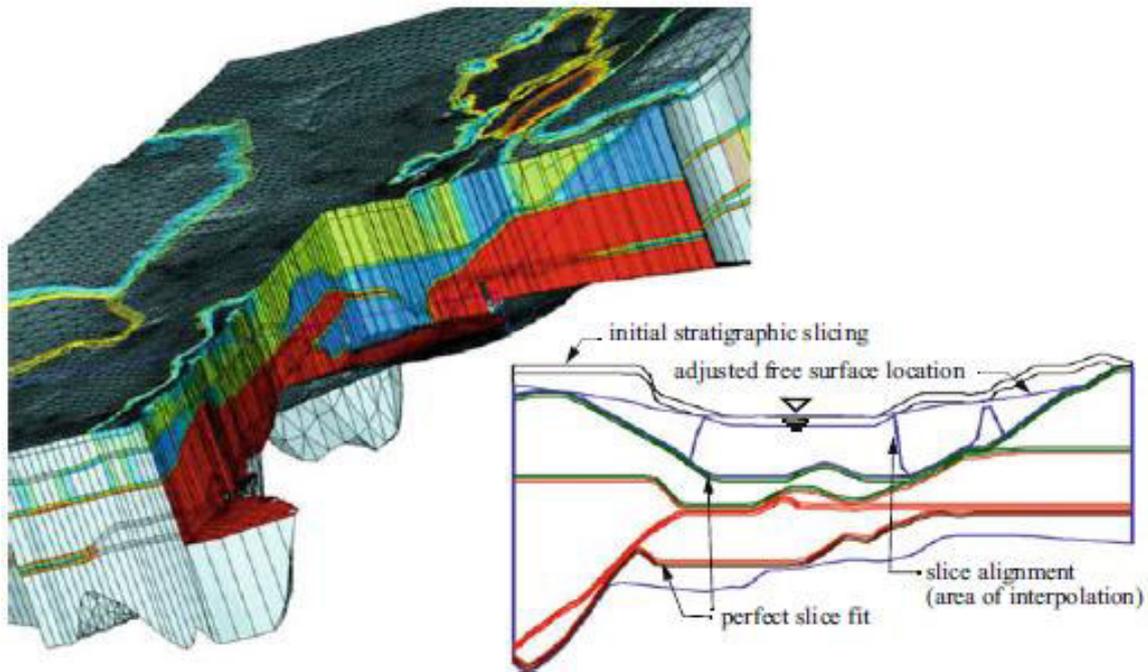


Figura 2.16. Diseño de la malla en acuíferos de estratigrafía compleja, Fuente: Diersch, (2014).

La incertidumbre de los parámetros lleva lógicamente a desconfiar de las interpretaciones y predicciones que se basan en un análisis del modelo, a menos que se demuestre que este último es una representación rigurosa del sistema real.

Para demostrar que un modelo de agua subterránea determinista es realista, por lo general se comparan las observaciones de campo de las repuestas del acuífero (tales como los cambios en los niveles del agua, en el caso del flujo; o los cambios en las concentraciones, en el caso del transporte), con los valores correspondientes calculados por el modelo.

El objetivo de este proceso de calibración consiste en minimizar las diferencias entre los datos observados y los calculados. Generalmente, se considera que el modelo está calibrado cuando representa los datos históricos dentro de unos niveles aceptables de precisión. El nivel de precisión se determina de forma subjetiva. Mientras que un ajuste pobre refleja claramente la existencia de errores en el modelo, un buen ajuste por sí mismo no demuestra la validez o la precisión del modelo (Konikow & Bredehoeft, 1992).

Como consecuencia del gran número de variables del sistema de ecuaciones que representa el modelo, la calibración no proporciona un único conjunto de parámetros. Cuando el ajuste es pobre, se supone que se debe a un error en el modelo conceptual, a un error en la solución numérica o a un escaso conjunto de valores de los parámetros. Es decir, no se puede distinguir entre las diferentes fuentes de error (Konikow & Bredehoeft, 1992). Incluso, cuando el ajuste de los datos históricos es bueno, el modelo no puede predecir las respuestas futuras de forma precisa; especialmente, bajo un conjunto de esfuerzos nuevos o más extensos, con respecto a los que se utilizarán durante el periodo de calibración.

En ocasiones, la calibración del modelo subterráneo determinista se realiza mediante un tanteo de los datos de entrada del modelo (las propiedades del acuífero, las fuentes y los sumideros, y las condiciones de contorno e iniciales) para modificar las salidas del modelo. Como existe una gran variedad de factores correlacionados que afectan a las salidas del modelo, este proceso de calibración manual puede resultar muy subjetivo e ineficiente. De esta manera, las múltiples aproximaciones de regresión permiten la construcción, la aplicación y la calibración simultánea de un modelo utilizando datos inciertos, para calcular las incertidumbres de las salidas del modelo y de sus predicciones (Cooley, 1986).

El modelo se valora en función de su capacidad para integrar los datos de la zona de estudio, mediante ecuaciones que describan los procesos relevantes de forma cuantitativa, para predecir los cambios o las respuestas de un sistema subterráneo. Asimismo, debe existir la posibilidad de retroalimentación durante la etapa de interpretación del modelo, tanto de la fase de toma de datos y análisis, como para la conceptualización y la definición matemática de los procesos relevantes.

Uno de los objetivos de la calibración del modelo es la mejora conceptual de su sistema. Como el modelo integra de modo numérico los efectos de muchos factores que afectan el flujo subterráneo, los resultados calculados deben ser internamente consistentes con los datos de entrada, y se pueden determinar siempre que se revise cualquier elemento del modelo conceptual. De hecho, los conceptos o interpretaciones previas de los parámetros o las variables del acuífero –como los mapas con las potencias del sistema o la especificación de las condiciones de contorno–, deben revisarse durante la calibración como resultado de la retroalimentación a partir de las salidas del modelo.

Las técnicas automáticas de estimación de parámetros mejoran la eficiencia de la calibración del modelo. Esta, consta de dos componentes generales: una parte que calcula el mejor ajuste (algunas veces se denomina ajuste histórico automático) y una segunda parte que evalúa las propiedades estadísticas del ajuste. El objetivo del ajuste histórico automático es obtener las estimaciones de los parámetros del sistema que ajusta mejor (desviaciones mínimas) los datos observados y los cálculos del modelo. Uno de los criterios más comunes es la desviación por mínimos cuadrados. El proceso de minimización utiliza unos coeficientes de sensibilidad que se basan en el cambio del valor calculado, dividido entre el cambio del parámetro. Por ejemplo, en el caso del flujo de agua subterránea, este factor puede tomar la forma específica de $\partial h/\partial t$, que es el cambio del nivel al cambiar la transmisividad. Los mismos

coeficientes de sensibilidad pueden ser útiles a la hora de tener en cuenta una nueva colección de datos empíricos.

a. Convergencia del modelo: En la mayoría de los casos aplicativos, el modelaje de aguas subterráneas genera grandes sistemas de ecuaciones algebraicas, para los cuales métodos de solución directa (como la eliminación de Gauss) pueden ser bastante ineficientes, debido a que el esfuerzo computacional es proporcional al tamaño de la matriz de rigidez. Sin embargo, existen métodos iterativos que resuelven estos sistemas de ecuaciones, basados en una aproximación de la solución, donde el esfuerzo computacional que demandan estos métodos numéricos también depende del tamaño de la matriz rigidez pero en menor medida.

El principio del procedimiento de la solución iterativa es crear una primera estimativa inicial de solución h_0 y luego aplicar un esquema de recurrencia (como la iteración de Richardson) para generar una secuencia de nuevas aproximaciones h_1, h_2, \dots , hasta alcanzar una solución más aproximada h . Una de las desventajas de este método es que la razón de convergencia podría ser lenta o que se generen problemas de divergencia. Este método requiere un criterio de parada, por lo que el proceso de iteración es finalizado para, así, considerar a la solución aproximada como suficientemente precisa.

El punto crucial de los métodos de iteración radica en el hallazgo de una estrategia para alcanzar una rápida convergencia. Existe una amplia variedad de métodos iterativos para resolver sistemas de ecuaciones; dentro de los más importantes, se tienen:

- Método del gradiente conjugado (CG).
- Método del residuo mínimo ortogonal (ORTHOMIN).

- Método del residuo mínimo generalizado (GMRES).
- Método Lanczos de la raíz del gradiente conjugado (CGS).

Para mejorar el comportamiento de convergencia de estos métodos iterativos, estos son utilizados por lo general en combinación con las técnicas denominadas de preconditionamiento, las cuales transforman el sistema básico de la matriz de tal forma que este se convierte en un sistema más adecuado de resolverse.

b. Precondicionamiento: Una importante propiedad de la matriz de rigidez A se determina por el número de condición $k(A)$, que se define como:

$$k(A) = \|A\| \|A^{-1}\| \quad (2.50)$$

Un preconditionamiento se caracteriza por tener la razón entre los máximos y mínimos autovalores $\lambda_{\max}(A)/\lambda_{\min}(A)$, problemas que cuando k es grande son denominados de mal-condicionados; y cuando k no lo es, bien-condicionados. Típicamente, un alto contraste entre los parámetros genera un número de condición muy grande. Debido a que los autovalores influyen en forma significativa en el comportamiento de convergencia del método iterativo, este podría mejorarse de k a $k \rightarrow 1$. Esto es posible mediante una adecuada transformación de la matriz A , de tal forma que el método iterativo converja mucho más rápido. Este tipo de modificación se denomina de preconditionamiento.

c. Análisis de sensibilidad: La calibración es el proceso que consiste en encontrar un conjunto de parámetros, condiciones de contorno y tensiones del sistema, que reproduzcan cargas hidráulicas y flujos simulados coincidentes con los valores reales medidos en el campo, asumiéndose una banda de error pre-establecido. Encontrar este conjunto de valores equivale a resolver lo que se conoce como el problema inverso (Anderson & Woessner, 2002).

En los estudios de casos presentados en esta tesis, el parámetro hidráulico que será modificado en cada proceso de calibración será la conductividad hidráulica de las unidades hidrogeológicas.

La calibración del modelo numérico puede ser realizada por los métodos de calibración manual tentativa y error, o por la calibración para la estimación de parámetros automatizada.

- **Calibración manual tentativa y error:** Este método consiste en cambiar los parámetros de entrada en el modelo de modo manual, hasta mejorar la relación entre los parámetros de salida del modelo con los valores de parámetros obtenidos en el campo. La principal ventaja de este método es que ofrece al modelador una mayor percepción de los factores que controlan el sistema.
- **Calibración para la estimación de parámetros automatizada:** La estimación de parámetros automatizada involucra el uso de uno o más códigos computacionales especialmente desarrollados para realizar la calibración del modelo, que a su vez resuelven el problema inverso. En la actualidad, existen diversos *softwares* capaces de resolver este método, siendo los principales aquellos que trabaja con FEFLOW.

Datos necesarios para la calibración:

- Los datos (observados) de calibración deben tener idealmente una distribución espacial en todo el modelo. Y en el caso de una calibración en régimen transitorio, una distribución espacial y temporal de los datos observados es necesaria.
- La no singularidad durante la calibración del modelo puede acrecentarse debido a que diferentes conjuntos de parámetros de entrada en el modelo producen salidas casi idénticas (Brown, 1996). Para compensar este efecto, otro parámetro de control debería ser empleado, el cual podría corresponder a flujos de salida o presiones conocidas en el campo.

d. Evaluación de la calibración:

- **Evaluación cualitativa:** De acuerdo con el estándar ASTM (D5490-93), este estudio debe considerar los siguientes aspectos:
 - **Características generales de flujo:** La evaluación de este tipo consiste en usar distribuciones espaciales de los estándares de flujo de aguas subterráneas basados en planos potenciométricos y compararlos con el campo de flujo obtenido después del proceso de simulación; verificando, de esta manera, la inexistencia de incoherencias.
 - **Condiciones hidrogeológicas:** Se identifican las diferentes condiciones hidrológicas que son representadas por el conjunto de datos disponibles. Luego se escoge un conjunto de datos a partir de cada condición hidrológica a ser usado en la calibración, y se usa el restante en su verificación.

Según la norma ASTM (D5490-93), solo cuando un conjunto de datos está disponible no es aconsejable separarlos artificialmente para su calibración y verificación; sino que es más importante calibrar los datos de cargas piezométricas que abarquen en la medida de lo posible todo el dominio modelado.

- **Evaluación cuantitativa:** Existen muchos métodos para estudiar cuantitativamente la calidad del ajuste entre los parámetros medidos y modelados. Las siguientes son consideradas las evaluaciones estadísticas mínimas, recomendadas por la norma ASTM (D5490-93), que deben ser desarrolladas en un modelo hidrogeológico.
 - **Carga potenciométrica residual:** Calcula los residuales (diferencias) entre las cargas medidas y las observadas.

$$r_i = h_c - h_m \quad (2.51)$$

donde:

r_i : es el residual, hidráulica medida,

h_m : medida hidráulica,

h_c : carga hidráulica calculada.

Si el residual fuera positivo, entonces la carga calculada sería muy alta; y si fuera negativo, muy baja.

- **Error promedio (ME):** Es la diferencia entre la carga hidráulica medida (h_m) y la carga hidráulica calculada (h_c) por el programa FEFLOW, siendo (n) el número total de datos comparados, y W_i el factor de ponderación de confianza basado en el juzgamiento del

modelador.

$$ME = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n W_i (h_m - h_c)_i \quad (2.52)$$

- **Error promedio absoluto (MAE):** Es la diferencia entre la carga hidráulica medida (h_m) y la carga hidráulica calculada (h_c) por el programa en valor absoluto, siendo (n) el número total de datos comparados.

$$MAE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |W_i (h_c - h_m)_i| \quad (2.53)$$

- **Error de la raíz promedio cuadrática (RMS):** Es la raíz cuadrada del promedio de las diferencias de los valores comparados, cargas hidráulicas medidas (h_m) y las cargas hidráulicas calculadas (h_c), elevadas al cuadrado, y en donde n es el número total de datos comparados.

$$RMS = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n [W_i (h_c - h_m)_i]^2} \quad (2.54)$$

- **Coefficiente de correlación (R):** Es una medida de la correlación del conjunto de datos, en donde R^2 es el coeficiente de determinación. El cálculo de R requiere el promedio y la desviación estándar de las cargas hidráulicas calculadas y medidas. En problemas de modelaje hidrogeológica, se considera como modelo calibrado a aquel cuyo coeficiente de correlación es un mínimo de 0.95.

Después que el modelo de flujo de aguas subterráneas sea calibrado, se puede realizar un análisis de sensibilidad, que depende de la disponibilidad de los datos. Esto, para estudiar cuantitativamente la relación

entre los resultados del modelo y las propiedades hidráulicas (o condiciones de contorno del acuífero).

De acuerdo con la norma ASTM (D5611-94), existen cuatro tipos de análisis de sensibilidad. Estos, dependen de qué tan sensible sea el modelo ante las variaciones de los parámetros de entrada que, según su significado en los cambios, pueden ser del tipo I al IV. Si el análisis de sensibilidad no fuera realizado, esto debe justificarse en la parte de metodología experimental.

CAPÍTULO III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Materiales

3.1.1. Información cartográfica

Se recopiló la información cartográfica existente de la zona, para iniciar los trabajos de ubicación y delimitación del Derrumbe 5, así como de las quebradas que cruzan el ámbito de estudio. La cartografía base está a escala 1/100000 en formato digital CAD, georeferenciada con datum WGS 84 y en zona 18 sur.

Para la tesis, también se adquirieron las cartas nacionales del Instituto Geográfico Nacional (IGN) del Ministerio de Defensa, cuadrángulo 25n y 26n, para la elaboración de la base cartográfica utilizada en el estudio.

Asimismo, se ejecutó un levantamiento topográfico detallado a escala 1/1000, con una equidistancia de curvas a nivel de 1 m; también de las alternativas de canteras y de las necesidades de obras civiles proyectadas, las mismas que permitirán obtenerse escalas mayores –como 1/200– y en consecuencia se puedan elaborar planos a escalas 1/1000 y 1/200 (de la planta y secciones).

Los puntos INIE I e INIE III, fueron utilizados como puntos de control de orden B para establecer el punto de control auxiliar INIE IV. Esto con el fin de obtener una mayor cobertura en las mediciones del levantamiento topográfico.

Los puntos de control utilizados para el estudio pueden observarse en las tablas 3.1 y 3.2

Establecidos los puntos de control, se iniciaron los trabajos topográficos en las 75 ha del área de estudio, ubicándose estructuras existentes, como: muros

y/o pantallas de anclaje, hitos de control, instrumentación geotécnica, escarpes, quebradas y otros detalles relevantes para la investigación.

Tabla 3.1. Puntos de control de orden B - Datum WGS- 84.

VERTICE	NORTE	ESTE	COTA
INIE I	8 622 203,896	523 212,575	2 762,037
INIE III	8 622 173,183	522 767,026	2 761,011

Fuente: CESEL (2011).

Tabla 3.2. Punto de Control Auxiliar

VERTICE	NORTE	ESTE	COTA
INIE IV	8 622 365,341	523 257,912	2 908,788

Fuente: CESEL (2011).

La información topográfica total descargada de los registros de memoria de la estación, ha sido procesada en el *software* AutoCAD Civil 3D versión 2009, con el que se realizó el modelamiento 3D del terreno. Posteriormente, se cumplió con el control de calidad.

- Levantamiento topográfico en las galerías: Para el levantamiento topográfico de las galerías existentes en el Derrumbe 5, se realizó la verificación de la calibración del control horizontal y vertical de la estación total a ser utilizada en dicho trabajo.

A partir de los puntos de la poligonal previamente establecidos, se iniciaron los trabajos topográficos en las galerías existentes, con una longitud total de 1'255,533 m, realizando secciones transversales a lo largo de las galerías y en función de los requerimientos de los especialistas; esto, para definir los planos de planta y los perfiles longitudinales de las mismas.

El replanteo del eje de las galerías existentes y ramificaciones ha sido debidamente marcado, como mínimo cada 5 m, con un clavo de acero e indicando su progresiva en la pared, con el fin de detallar cada transición y/o cambio de geometría de las galerías (véanse la Tabla 3.3 y la Figura 3.1).

Tabla 3.3. Resumen de levantamiento topográfico en las galerías.

GALERÍA / TUNEL		PROGRESIVA INICIO	PROGRESIVA FIN	Nº DE SECCIONES
Galería S-250	Túnel 1	0+000	0+278.692	11
	Túnel 2	0+000	0+044.999	
	Túnel 3	0+000	0+010.000	
	Túnel 4	0+000	0+010.000	
	Túnel 5	0+000	0+019.957	
	Túnel 6	0+000	0+009.999	
Galería S-200	Túnel 1	0+000	0+479.171	49
	Túnel 2	0+000	0+229.618	
	Túnel 3	0+000	0+042.032	
	Túnel 6	0+000	0+021.231	
	Túnel 7	0+000	0+013.000	
	Túnel 9	0+000	0+033.894	
	Túnel 10	0+000	0+013.994	
	Túnel 11	0+000	0+055.273	
	Túnel 12	0+000	0+046.860	
	Túnel 13	0+000	0+029.527	
	Túnel 14	0+000	0+011.971	
Túnel 15	0+000	0+028.962		

Fuente: CESEL (2011).

La información topográfica total descargada de los registros de memoria de la estación, fue procesada con el *software* AutoCAD Civil 3D versión 2009, utilizado también para realizar el modelamiento 3D de las galerías.

Para mayor detalle, véanse los planos RMG-TO-001, RMG-TO-002 y RMG-TO-003.

3.1.2. Información climatológica

En el Perú, la información hidrométrica en hidrología superficial es escasa, sobre todo en las zonas alejadas de nuestro territorio. Por ello, muchos estudios

se realizan con parámetros de precipitación, los cuales requieren un tratamiento a priori de esta información, necesiándose registros confiables (véase la Tabla 3.4).



Figura 3.1. Vista del interior de la galería existente.

Tabla 3.4. Resumen de información de estaciones de aforo.

Código	Tipo de Información	Estación	Latitud	Longitud	Altitud (m.s.n.m.)	Periodo
C201	Hidrográfica	Upamayo	10° 55'	76° 16'	4,080	1965 - 2004
C213	Hidrográfica	Mejorada	12° 31'	74° 55'	2,799	1965 - 2004
C257	Hidrográfica	Puente Chúlec	11° 30'	75° 55'	3,710	1965 - 2004
C261	Hidrográfica	Quillón	12° 23'	75° 09'	3,190	1965 - 2004
C262	Hidrográfica	Moya	12° 24'	75° 08'	3,180	1965 - 2004
C268	Hidrométrica	Cochas Túnel	11° 51'	75° 44'	3,750	1965 - 2004
C269	Hidrométrica	Piñascocha	11° 51'	75° 45'	3,750	1965 - 2004

Fuente: COES – Electroperú (2010).

Por lo expuesto, se debe resaltar que la única institución reconocida que proporciona esta información es el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI), organismo público adscrito al Ministerio del Ambiente, e integrante de la Organización Mundial de Meteorología (OMM), razón por la cual cumple con los estándares de monitoreo, adquisición, medición y tratamiento de datos meteorológicos, siendo además el ente supervisor de las actividades hidrometeorológicas en el Perú.

a. Temperatura: Las variaciones de este parámetro meteorológico están directamente ligadas al factor altitudinal. La temperatura experimenta variaciones que van desde el tipo semicálido en los niveles más bajos, hasta aquellas de tipo templado, donde las temperaturas descienden en forma gradual, alcanzando un promedio que oscila entre los 16°C y 18°C, según los registros de las estaciones Mejorada y Quichuas, respectivamente (mayor información puede verse en las tablas 3.5 y 3.6).

Tabla 3.5. Resumen de información de temperatura.

Tipo de Información	Estación	Latitud	Longitud	Altitud (m.s.n.m.)	Nº años
Temperatura	Mejorada	12° 53'	74° 86'	2,820	42
Temperatura	Quichuas	12° 47'	74° 77'	2,650	41

Fuente: Electroperú (2010).

b. Humedad relativa: Presenta un régimen variable en el transcurso del año, con una época de valores altos durante los meses de verano (enero, febrero y marzo) y una época de valores bajos durante los meses invernales (junio, julio y agosto). Los valores promedios anuales de humedad relativa registrados en las estaciones de Mejorada y Quichuas para el periodo comprendido entre los años 2002 y 2005, oscilan entre 54% y 60%, respectivamente (esta información puede verse en la Tabla 3.7).

Tabla 3.6. Temperatura media mensual - Rangos térmicos.

Altitud (m.s.n.m.)	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic
<1 000	23,7	24,0	23,9	23,4	22,2	21,0	20,6	21,3	22,0	22,2	23,3	23,6
1 000 – 2	20,8	21,1	20,9	20,7	19,7	18,6	18,4	19,2	19,9	19,9	21,2	21,0
2 000 – 3	16,3	16,6	16,3	16,3	15,7	14,7	14,6	15,5	16,4	16,3	17,4	16,9
3 000 – 4	9,84	9,93	9,81	9,68	9,20	8,38	8,13	8,79	9,52	9,81	10,4	10,1
>4 000	4,91	4,90	4,93	4,66	4,22	3,51	3,05	3,51	4,16	4,79	4,96	4,98

Fuente: ANA (2010); Electroperú (2010).

Tabla 3.7. Humedad relativa - Cuenca del río Mantaro.

Altitud (msnm)	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic
553 – 1 000	71,5	73,4	73,6	71,8	69,6	69,9	68,7	67,8	67,7	69,2	67,8	69,9
1 000 – 1	71,3	73,4	73,8	71,4	68,6	69,3	67,3	66,5	66,8	68,5	66,9	69,3
1 500 – 2	67,4	70,1	71,2	67,2	63,0	61,4	60,4	60,3	61,1	62,5	60,6	64,2
2 000 – 2	65,3	68,1	69,7	64,4	59,5	56,8	55,7	56,4	57,6	58,5	56,6	61,0
2 500 – 3	67,5	69,9	71,7	66,1	60,5	57,0	55,8	56,9	58,9	60,7	58,8	63,2
3 000 – 3	68,8	69,6	72,5	65,7	60,3	55,3	53,6	56,5	59,1	60,0	58,7	63,6
3 500 – 4	73,1	72,3	75,1	68,3	62,9	57,0	54,4	58,3	62,2	63,5	63,2	67,7
4 000 – 4	76,4	73,5	77,3	69,7	64,9	58,1	55,1	60,8	64,9	66,0	66,4	70,9
4 500 – 4	80,1	74,0	79,7	70,7	67,3	59,1	55,6	64,2	68,1	67,5	69,2	74,0

Fuente: ANA (2010); Electroperú (2010).

c. Evaporación: La intensidad de la evaporación varía en el sentido inverso al incremento de las temperaturas; es decir, que es menor en los meses de verano (enero, febrero y marzo), no obstante que registra las temperaturas más altas y las precipitaciones más abundantes. Es mayor durante los meses invernales, que por el contrario son más fríos y secos (junio, julio y agosto). Los datos de evaporación media anual registrados en las estaciones de Mejorada y Quichuas para el periodo comprendido entre los años 2002 y 2005, oscilan entre 3.6 mm y 3.8 mm (véase el Anexo 2, Hidrología).

d. Horas de sol: Las horas de sol presentan un régimen casi invariable a lo largo del año, presentando pequeñas diferencias en los meses de invierno, que es cuando se registra la mayor cantidad. El promedio más alto se registra en el mes de agosto, con 6.12 horas pero en general y a lo largo del año las horas de sol tienden a ser casi 5 horas, según los datos tomados de la estación Quichuas, del periodo entre los años 2002 y 2005 (véase el Anexo 2, Hidrología).

e. Velocidad del viento: De los datos obtenidos en la estación Quichuas, se puede afirmar que los vientos son generalmente calmados, con velocidades que van de un mínimo de 0.8 a un máximo de 1.4 m/s. La velocidad media anual del viento, para el periodo comprendido entre los años 2002 y 2005, oscila entre 0.9 y 1.0 m/s (véase el Anexo 2, Hidrología).

f. Hidrografía: Los recursos hídricos de la represa Tablachaca provienen del río Mantaro, que pertenece a la vertiente atlántica del sistema andino; nace en la descarga del lago Junín, a más de 4,000 m.s.n.m.

El área total de la cuenca del Mantaro abarca unos 36,600 km², hasta confluir con el río Apurímac para conformar el río Ene, en un tramo de 735 km. A lo largo de su cauce, se definen tres tramos: el Mantaro superior, el medio y el inferior (véase la Figura 3.2).

g. Precipitación: El régimen de precipitación pluvial presenta dos épocas bien marcadas: una época lluviosa que se inicia en octubre y cesa en abril, alcanzando los promedios totales mensuales más altos en los meses comprendidos entre enero y marzo; y una época de menores precipitaciones entre mayo y septiembre, cuando las lluvias son esporádicas y escasas.

Las estaciones de Mejorada y Quichuas tienen un registro desde 1962 y 1963, de precipitaciones máximas de 230.6 mm y 220.2, respectivamente; mientras que el resto de estaciones, que solo tienen registros desde 1994, dan cuenta de precipitaciones máximas de 200 mm; registradas en su totalidad durante el mes de enero. Por ello, en general, para la zona de estudio, se tiene una precipitación promedio anual entre 550 mm y 600 mm.

En la Tabla 3.8 se presentan los datos de precipitación total mensual registrados en la estación Quichuas.

3.1.3. Hardware y software especializados

- Computadora Intel (R) Core TM i5 CPU M430 @2.27 GHZ y 2GB de memoria y monitor de 17”.
- Modelo FEFLOW+FMH3 5.3.
- *Software* Arc GIS 9.3.
- *Software* Surfer 8.0.
- *Software* AutoCAD Civil 3D 2013.

3.2. Área de Estudio

La zona seleccionada para la estabilización del Derrumbe 5, se ubica en el lado derecho de la presa de Tablachaca, en el sector encañonado del río Mantaro, sobre el flanco occidental de la cordillera oriental. Esto, en la provincia de Tayacaja del departamento de Huancavelica, a 110 km al sureste de la población de Huancayo (véase la Figura 3.3).

3.3. Caracterización de la Hidrología Superficial

3.3.1. Ciclo hidrológico del área de estudio

Se da a partir de la precipitación que cae y se infiltra directamente en el suelo, de otra parte que es absorbida por la escasa vegetación y de una mínima

porción que se incorpora a los glaciares o nevados.

3.4. Caracterización de la Hidrología Superficial

3.4.1. Ciclo hidrológico del área de estudio

Se da a partir de la precipitación que cae y se infiltra directamente en el suelo, de otra parte que es absorbida por la escasa vegetación y de una mínima porción que se incorpora a los glaciares. El agua que se infiltra se convierte en agua subterránea, que es almacenada o fluye lentamente hacia corrientes y cuerpos de agua (véase la Figura 3.4).

Sobre la base de la información de la Evaluación Geotécnica Estática y Dinámica del Derrumbe 5 del Estudio Integral Embalse Tablachaca del Consorcio INGETEC-SVS, se complementó el estudio hidrológico determinándose que el rendimiento hídrico será $12.92 \text{ m}^3/\text{s}/\text{km}^2$.

3.4.2. Datos históricos

El Consorcio INGETEC-SVS utilizó las precipitaciones medias diarias de las tres estaciones pluviométricas que se encuentran localizadas en la zona del Derrumbe y en Quichuas. En la Tabla 3.9 se presenta la información general de dichas estaciones.

Durante el periodo 1964-1978, la precipitación media diaria fue determinada por el Consorcio INGETEC-SVS con información de la estación Quichuas; mientras que la precipitaciones del periodo 1979-2005 fue determinada con información de las estaciones PRD5BAJO y PRD5ALTO, ubicadas en parte baja y alta del Derrumbe 5. En estos tres casos, la precipitación media diaria se obtuvo con ayuda del método de los polígonos de Thiessen.

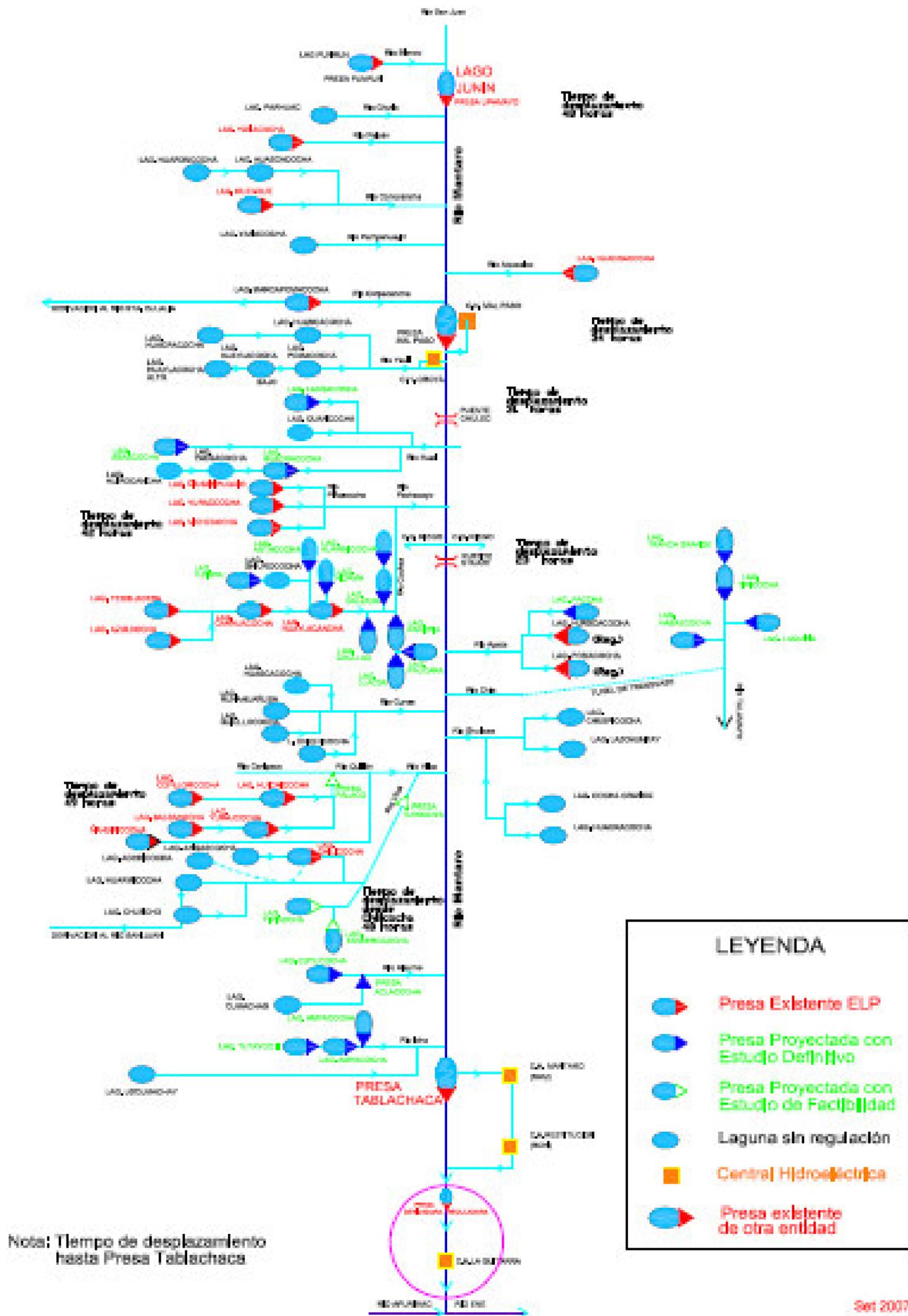


Figura 3.2. Diagrama topológico de la cuenca del río Mantaro, Fuente: Electroperú, (2011).

Tabla 3.8. Datos de precipitación total mensual estación Quichuas.

Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic	Total
1964	25	43	71	54	42	0	0	3	43	48	71	101	501
1965	78	86	65	34	10	1	8	9	32	17	35	75	450
1966	69	79	60	36	21	1	0	11	16	73	97	86	549
1967	79	100	179	23	18	8	10	32	19	71	45	88	672
1968	95	84	52	25	4	2	9	14	16	40	52	102	495
1969	59	67	62	36	4	5	5	14	20	48	52	96	468
1970	171	66	73	47	11	5	11	1	33	54	32	98	602
1971	69	40	45	41	5	2	0	14	6	37	51	86	396
1972	83	48	89	61	5	0	0	0	10	27	50	62	435
1973	113	142	123	17	0	2	17	21	27	57	28	100	647
1974	144	164	81	39	2	20	0	20	6	46	23	24	569
1975	148	72	103	43	20	0	0	0	0	0	43	102	531
1976	99	72	88	26	10	12	4	0	42	17	22	52	444
1977	39	112	82	8	17	1	2	0	22	26	107	113	529
1978	151	103	69	30	9	7	1	1	60	34	46	82	593
1979	106	66	228	82	14	0	22	14	40	51	83	166	872
1980	112	151	228	28	22	1	18	18	65	154	56	83	936
1981	230	376	133	39	11	0	0	51	11	95	110	147	1203
1982	203	133	95	38	3	6	1	19	38	63	102	33	734
1983	62	58	72	35	6	19	2	16	47	43	51	77	488
1984	150	233	119	77	18	20	4	20	7	44	83	94	869
1985	121	83	87	63	18	7	0	9	46	46	60	126	666
1986	110	228	164	45	13	0	5	44	0	43	53	93	798
1987	92	70	44	32	34	4	10	1	38	41	86	67	519
1988	146	150	109	39	5	0	0	0	3	64	43	97	656
1989	77	99	182	64	14	27	0	8	17	98	33	52	671
1990	84	38	82	29	13	104	23	71	35	184	202	59	924
1991	110	0	59	30	9	30	5	12	13	35	183	35	521
1992	38	48	26	13	0	11	7	4	7	22	193	18	387
1993	101	64	41	29	12	8	5	4	16	156	289	50	775
1994	105	116	99	58	29	0	0	1	8	30	181	91	718
1995	73	128	112	16	5	13	1	8	33	26	47	58	520
1996	97	125	76	51	3	0	0	0	36	30	56	0	474
1997	112	111	74	69	12	1	0	22	36	30	79	50	596
1998	107	79	93	12	2	6	0	6	4	65	39	120	533
1999	92	101	72	43	6	3	12	2	56	29	79	66	561
2000	141	108	68	33	24	5	5	5	11	35	46	58	539
2001	111	87	84	26	28	1	14	10	21	0	0	0	382
2002	96	77	115	54	12	0	0	13	35	10	42	50	504
2003	52	135	106	27	18	13	8	8	25	52	49	163	656
2004	63	75	78	21	15	11	6	3	22	48	35	120	497
2005	64	72	70	19	11	9	5	2	19	45	36	110	462
Prom.	102	102	94	38	13	9	5	12	25	51	73	80	603
Max.	230	376	228	82	42	104	23	71	65	184	289	166	1203
Mín.	25	0	26	8	0	0	0	0	0	0	0	0	382

Fuente: CESEL (2011).



Figura 3.3. *Ámbito de estudio para las obras de estabilización del Derrumbe 5 - Quichuas – Huancavelica.*

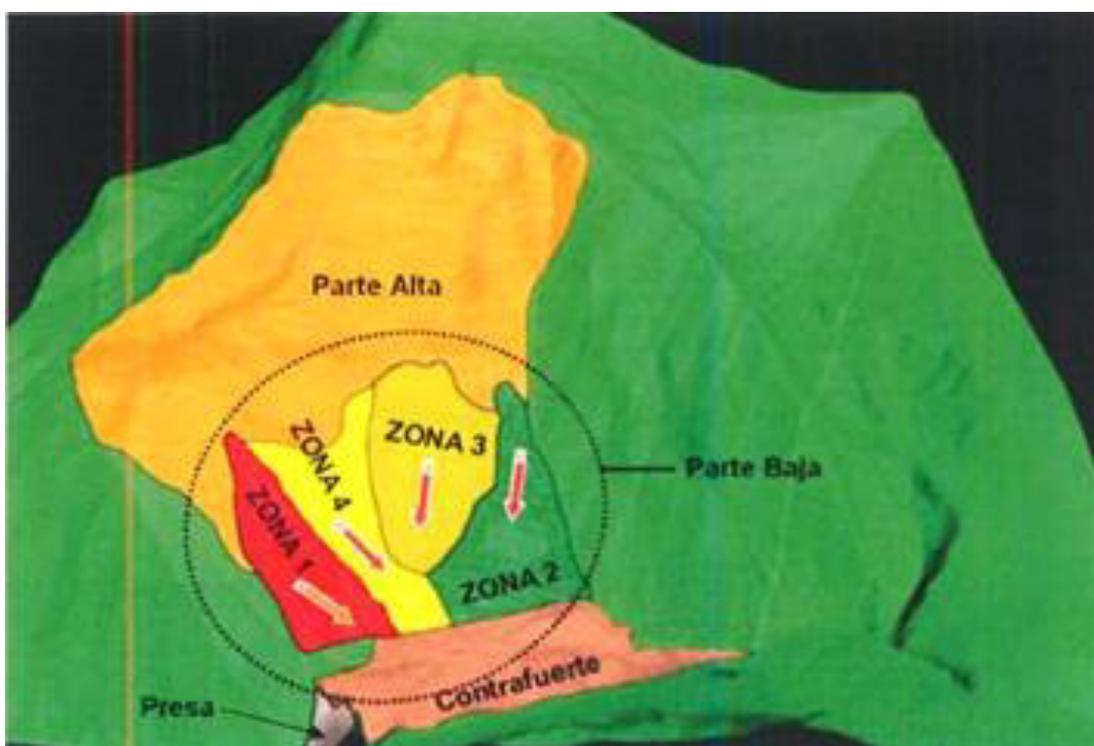


Figura 3.4. *Ciclo hidrológico en la zona de estudio.*

Tabla 3.9. Estaciones pluviométricas.

Código	Estación	Cota (msnm)	Periodo de Registro	Coordenadas Planas	
				Norte	Este
Sin Código	Quichuas	2 550,00	1964/01/01-2003/12/31	ND	ND
PRD5BAJO	D5BAJO	2 758,63	1979/03/16-2005/03/15	8 621 875	523 091
PRD5ALTO	D5ALTO	2 948,04	1981/11/05-2005/03/15	8 621 746	523 387

Fuente: CESEL (2011).

A partir de la precipitación media diaria calculada del Derrumbe 5, se obtuvieron las precipitaciones máximas diarias anuales de los periodos 1964-2001/2003-2005 (véase la Tabla 3.10), contando con un periodo de 41 años para el desarrollo del estudio hidrológico.

Las estadísticas de las precipitaciones máximas diarias son:

- Número de datos: 41.
- El promedio de $P_{max\ 24} = 31.5$ mm.
- La máxima de $P_{max\ 24} = 98$ mm.
- La mínima de $P_{max\ 24} = 15$ mm.
- La desviación estándar de $P_{max\ 24} = 15.21$.

3.4.3. Tiempo de retorno

El tiempo de retorno está en función de la vida de diseño de las estructuras de drenaje y la probabilidad de riesgo de falla. Con las características anteriormente indicadas y los valores de la Tabla 3.11, se obtiene el TR, que es igual a 190 años.

La vida de diseño de las cunetas es 20 años, que deberán ser rehabilitadas y mejoradas dentro de un plan de mantenimiento periódico. El riesgo de falla es de 10%, teniéndose en cuenta que las cunetas podrían ser reparadas antes de que sean riesgosas para la estabilidad del Derrumbe 5.

Tabla 3.10. Serie de precipitación media diaria a nivel mensual sobre el Derrumbe 5 (en mm).

Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic	Total
1964	25	43	71	54	42	0	0	3	43	48	71	101	501
1965	78	86	65	34	10	1	8	9	32	17	35	75	450
1966	69	79	60	36	21	1	0	11	16	73	97	86	549
1967	79	100	179	23	18	8	10	32	19	71	45	88	672
1968	95	84	52	25	4	2	9	14	16	40	52	102	495
1969	59	67	62	36	4	5	5	14	20	48	52	96	468
1970	171	66	73	47	11	5	11	1	33	54	32	98	602
1971	69	40	45	41	5	2	0	14	6	37	51	86	396
1972	83	48	89	61	5	0	0	0	10	27	50	62	435
1973	113	142	123	17	0	2	17	21	27	57	28	100	647
1974	144	164	81	39	2	20	0	20	6	46	23	24	569
1975	148	72	103	43	20	0	0	0	0	0	43	102	531
1976	99	72	88	26	10	12	4	0	42	17	22	52	444
1977	39	112	82	8	17	1	2	0	22	26	107	113	529
1978	151	103	69	30	9	7	1	1	60	34	46	82	593
1979	106	66	228	82	14	0	22	14	40	51	83	166	872
1980	112	151	228	28	22	1	18	18	65	154	56	83	936
1981	230	376	133	39	11	0	0	51	11	95	110	147	1203
1982	203	133	95	38	3	6	1	19	38	63	102	33	734
1983	62	58	72	35	6	19	2	16	47	43	51	77	488
1984	150	233	119	77	18	20	4	20	7	44	83	94	869
1985	121	83	87	63	18	7	0	9	46	46	60	126	666
1986	110	228	164	45	13	0	5	44	0	43	53	93	798
1987	92	70	44	32	34	4	10	1	38	41	86	67	519
1988	146	150	109	39	5	0	0	0	3	64	43	97	656
1989	77	99	182	64	14	27	0	8	17	98	33	52	671
1990	84	38	82	29	13	104	23	71	35	184	202	59	924
1991	110	0	59	30	9	30	5	12	13	35	183	35	521
1992	38	48	26	13	0	11	7	4	7	22	193	18	387
1993	101	64	41	29	12	8	5	4	16	156	289	50	775
1994	105	116	99	58	29	0	0	1	8	30	181	91	718
1995	73	128	112	16	5	13	1	8	33	26	47	58	520
1996	97	125	76	51	3	0	0	0	36	30	56	0	474
1997	112	111	74	69	12	1	0	22	36	30	79	50	596
1998	107	79	93	12	2	6	0	6	4	65	39	120	533
1999	92	101	72	43	6	3	12	2	56	29	79	66	561
2000	141	108	68	33	24	5	5	5	11	35	46	58	539
2001	111	87	84	26	28	1	14	10	21	0	0	0	382
2002	96	77	115	54	12	0	0	13	35	10	42	50	504
2003	52	135	106	27	18	13	8	8	25	52	49	163	656
2004	63	75	78	21	15	11	6	3	22	48	35	120	497
2005	64	72	70	19	11	9	5	2	19	45	36	110	462
Prom.	102	102	94	38	13	9	5	12	25	51	73	80	603
Max.	230	376	228	82	42	104	23	71	65	184	289	166	1203
Min.	25	0	26	8	0	0	0	0	0	0	0	0	382

Fuente: CESEL (2011).

Datos de precipitación máxima diaria anual.

Tabla 3.11. Tiempo de retorno en función de diseño y riesgo aceptable de falla.

Vida de Diseño (años)	Riesgo Aceptable de Falla (%)	Tiempo de Retorno (años)
10	5	200
	10	100
	20	50
20	5	390
	10	190
	18.2	100
30	5	585
	10	285
	26	100
50	5	975
	10	475
	40	100
70	5	1 365
	10	665
	30	197
100	1	9 950
	5	1 950
	10	950

3.4.4. Ajuste estadístico de Pmax24

La serie histórica de Pmax 24 anual se ajusta a una distribución log-normal, verificándose esto mediante la prueba de bondad de ajuste Smirnov-Kolmogorov.

Determinando el tiempo de retorno igual a 190 años, y teniendo en cuenta los resultados del ajuste estadístico de Pmax24 a la distribución log-normal, se obtiene la Pmax24 horas de 74.6 mm. Esta información puede verse en la Tabla 3.12.

3.4.5. Curva IDF

Debido a que no se dispone de registros pluviográficos que permitan obtener las intensidades máximas, se aplicó la ecuación de Dick y Peschke para

calcular la lluvia máxima, en función de la precipitación máxima en 24 horas.

Tabla 3.12. Tiempo de retorno.

TR (Años)	Pmx24 (mm)
5	39.7
10	46.7
20	53.4
25	55.5
50	62
100	68.6
190	74.6
390	81.5
500	84

TR: Tiempo de retorno.

Con los datos de lluvia máxima en la zona del Derrumbe 5 se obtuvo la curva de Intensidad-Duración-Frecuencia (IDF).

$$I = \frac{10^{2,505} \cdot T^{0,154}}{t^{0,75}} \quad (2.55)$$

donde:

I (mm/h) = Intensidad máxima.

T (años) = Periodo de retorno.

t (min) = Duración de precipitación.

Los cálculos correspondientes a la determinación de la curva IDF del Derrumbe 5 se presentan en el Anexo 2, Hidrología.

3.4.6. Tiempo de concentración

Se calculó el tiempo de concentración a partir de las fórmulas de Kirpich, Hathaway, Bransby-Williams y de la U.S. Corp. Ing., tal como se aprecia en la Tabla 3.13.

Con las características de la cuenca que corresponden al área de drenaje del Derrumbe 5, se estimó en promedio que el tiempo de concentración sería 15.62 minutos.

3.4.7. Coeficiente de escorrentía

Se consideró un suelo muy permeable con un valor de $C=0.30$; sin embargo, el coeficiente de escorrentía tiene dos factores más que son relevantes para su determinación: la pendiente del terreno y el tiempo de retorno (véase la Figura 3.5, Tipo de suelos).

Considerando que el Derrumbe 5 tiene pendientes superiores al 50% y que el tiempo de retorno es superior a 100 años, el coeficiente de escorrentía adoptado es $C=0.51$ (pendiente superior a 7%, condición de cobertura mayor al 75%). Esto puede observarse en la Tabla 3.14.

3.4.8. Rendimiento hídrico

En áreas colectoras pequeñas, como el Derrumbe 5, para el cálculo del rendimiento hídrico se usa el método racional.

$$Q = C I A / 3,6 \text{ (m}^3\text{/s)} \quad (2.56)$$

donde:

I (mm/h) = Intensidad máxima.

A (km²) = Área.

C = Coeficiente de escorrentía.

Y los datos de entrada son:

$C = 0.51$.

$T_c = t = 15.62$ minutos.

$T_r = 190$ años.

$I = 91.25$ mm/hora.

Tabla 3.13. Tiempo de concentración.

Características de La Cuenca			Tiempo de Concentración en hr					Tiempo de Concentración (Tc) (mínimo)
Área (km ²)	Longitud (km)	Pendiente (m/m)	Kirpich	Hathaway	Bransby-Williams	U.S. Corp. Ing.	Promedio	
4,095	1,195	0.77	0.08	0.33	0.27	0.36	0.26	15.62

$A = 37.6 \text{ km}^2$

El caudal de diseño es $12.92 \text{ m}^3/\text{s}/\text{km}^2$.

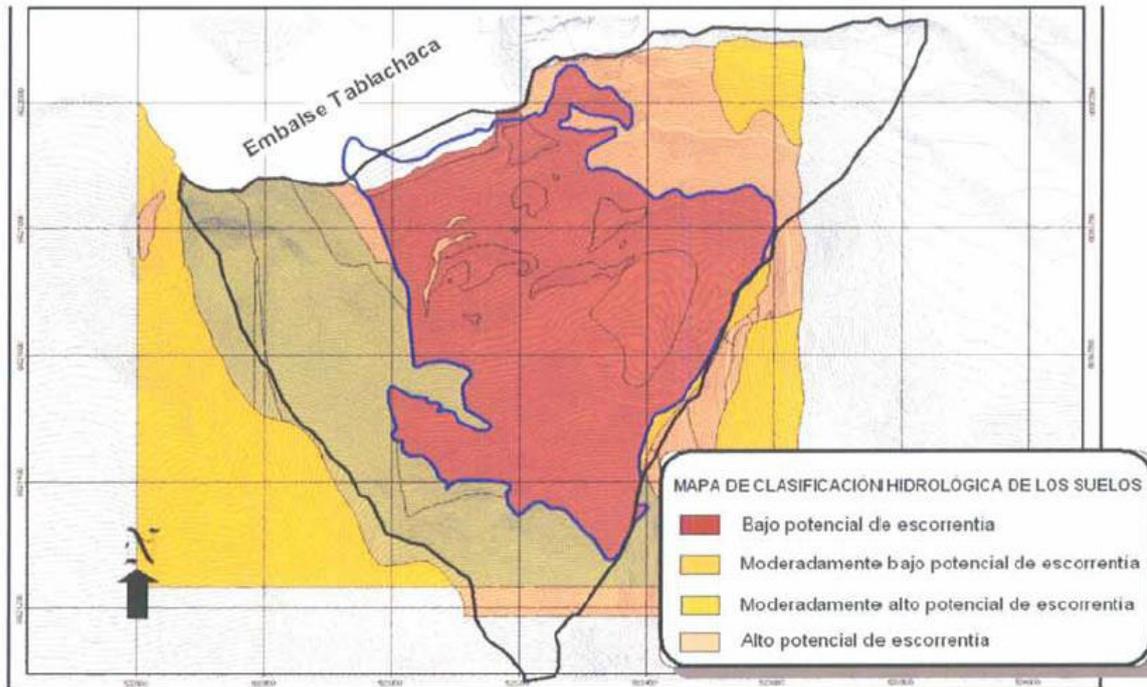


Figura 3.5. Clasificación hidrológica de los suelos en el Derrumbe 5.

3.4.9. Caudal de diseño

Para el cálculo de los caudales de diseño se definió el sistema de drenaje superficial del Derrumbe 5.

El caudal de diseño de cada dren está conformado por el caudal de ladera (Q laderas) y el caudal del dren (Q dren).

El caudal de ladera es la escorrentía de lluvia de las áreas de drenaje, y el caudal de dren corresponde a los aportes de otros drenes.

Tabla 3.14. Coeficiente de escorrentía en función de característica regional y periodo de retorno.

Características de la Superficie	Periodo de Retorno (años)						
	2	5	10	25	50	100	500
Áreas desarrolladas							
Asfáltico	0.73	0.77	0.81	0.86	0.90	0.95	1.00
Concreto/techo	0.75	0.80	0.83	0.88	0.92	0.97	1.00
Zonas verdes (jardines, parques, etc.)							
Condición pobre (cubierta de pasto menor del 50% del área)							
Plano 0-2%	0.32	0.34	0.37	0.40	0.44	0.47	0.58
Promedio 2-7%	0.37	0.40	0.43	0.46	0.49	0.53	0.61
Pendiente superior a 7%	0.40	0.43	0.45	0.49	0.52	0.55	0.62
Condición promedio (cubierta de pasto del 50 al 75% del área)							
Plano 0-2%	0.25	0.28	0.30	0.34	0.37	0.41	0.53
Promedio 2-7%	0.33	0.36	0.38	0.42	0.45	0.49	0.58
Pendiente superior a 7%	0.37	0.40	0.42	0.46	0.49	0.53	0.60
Condición buena (cubierta de pasto de 75% del área)							
Plano 0-2%	0.21	0.23	0.25	0.29	0.32	0.36	0.49
Promedio 2-7%	0.29	0.32	0.35	0.39	0.42	0.46	0.56
Pendiente superior a 7%	0.34	0.37	0.40	0.44	0.47	0.51	0.58
Áreas no desarrolladas							
Área de cultivos							
Plano 0-2%	0.31	0.34	0.36	0.40	0.43	0.47	0.57
Promedio 2-7%	0.35	0.38	0.41	0.44	0.48	0.51	0.60
Pendiente superior a 7%	0.39	0.42	0.44	0.48	0.51	0.54	0.61
Pastizales							
Plano 0-2%	0.25	0.28	0.30	0.34	0.37	0.41	0.53
Promedio 2-7%	0.33	0.36	0.38	0.42	0.45	0.49	0.58
Pendiente superior a 7%	0.37	0.40	0.42	0.46	0.49	0.53	0.60
Bosques							
Plano 0-2%	0.22	0.25	0.28	0.31	0.35	0.39	0.48
Promedio 2-7%	0.31	0.34	0.36	0.40	0.43	0.47	0.56
Pendiente superior a 7%	0.35	0.39	0.41	0.45	0.48	0.52	0.58

Fuente: Adaptado de Ven Te Chow (2014, p. 297).

En la Tabla 3.15, se presenta el detalle de los caudales de diseño de cada uno de los drenes y el sistema de drenaje superficial.

Tabla 3.15. Caudales de diseño del sistema de drenaje del Derrumbe 5.

Tipo	Dren	Longitud (m)	Área (m ²)	Q Laderas (m ³ /s)	Q dren (m ³ /s)	Q Total (m ³ /s)
Cuneta principal	1	371,1	33 025,31	0,427	0,000	0,427
	2A	149,9	23 681,15	0,306	0,000	0,306
	2B	574,7	50 277,34	0,650	0,306	0,956
	3	371,7	26 454,26	0,342	0,000	0,342
	4	391,5	16 415,42	0,212	0,000	0,212
	6	295,5	10 361,22	0,134	0,075	0,209
	6A	38,8	1 120,48	0,014	0,000	0,014
	6B	45,9	4 708,86	0,061	0,014	0,075
	7A	471,4	32 766,11	0,423	0,000	0,423
	7B	159,3	9 408,02	0,122	0,632	0,754
	8	297,6	9 206,81	0,119	0,082	0,201
	9	150,5	5 488,81	0,071	0,000	0,071
	10	175,2	13 288,01	0,172	0,000	0,172
	11	138,2	4 367,84	0,056	0,071	0,127
	12	134,8	2 866,39	0,037	0,127	0,164
	13A	69,7	867,93	0,011	0,007	0,018
	13B	46,0	517,60	0,007	0,000	0,007
	14	452,7	20 171,64	0,261	0,383	0,644
	15	193,9	6 187,99	0,080	0,000	0,080
16	354,2	14 432,25	0,186	0,080	0,266	
17	382,6	13 034,15	0,168	0,000	0,168	
18	126,9	4 761,00	0,062	0,000	0,062	
19	510,6	17 513,87	0,226	0,062	0,288	
Cuneta secundaria	I	204,7	2 371,20	0,031	0,000	0,031
	II	47,8	316,14	0,004	0,000	0,004
	III	129,3	5 559,29	0,072	0,000	0,072
	IV	107,5	3 265,05	0,042	0,072	0,114
	V	65,7	3 737,04	0,048	0,000	0,048
	VI	135,2	6 373,16	0,082	0,000	0,082
	VII	197,7	19 245,48	0,249	0,000	0,249
Colectores	Oeste	328,0	6 980,99	0,090	2,494	2,584
	Este*	790,0	8 148,03	0,105	0,703	0,808
	Este**		0,00	0	1,859	1,859
Total		7 908,6	376 918,84			

* Colector Este comprende desde sus inicios hasta el final de la cuneta existente (denominada cuneta 5), que coincide con el punto de entrega del canal 7B. El caudal referido corresponde al acumulado en este tramo.

** Colector Este comprende desde la entrega del canal 7B hasta su final (entrega al río aguas abajo de la presa). El caudal referido corresponde al acumulado total requerido en el Colector Este.

Fuente: CESEL (2011).

El sistema de drenaje para el Derrumbe 5 se presenta en el Anexo 2, Planos RMG-HI-001 al RMG-HI-004, de la presente tesis.

3.5. Caracterización Geológica

3.5.1. Geomorfología

El marco físico general del sistema andino del centro del Perú se caracteriza por tener una rugosa y elevada estructura hórstica. Asimismo, el área de estudio se encuentra en las unidades morfoestructurales entre la cordillera Occidental-Altiplanicies y cordillera Oriental, separadas por el valle interandino longitudinal del río Mantaro. Estos rasgos geomorfológicos presentan un alineamiento noroeste conformado generalmente por rocas paleozoicas distribuidas en el complejo basal de la cordillera Oriental, cubiertas en discordancia por rocas sedimentarias mesozoicas (véanse los planos RMG-GE-003 al RMG-GE-008 del Anexo 6 de la presente tesis).

El proceso de levantamiento de los Andes originó un desarrollo geomorfológico de superficies erosionadas llamadas ‘Superficie Puna’ y etapas ‘Valle y Cañón’, que están ampliamente expuestas en la región andina del centro del Perú, asociadas a un ciclo de erosión maduro a juvenil. La superficies ‘Puna’ y ‘Valle y Cañón’, fueron afectadas por el proceso glaciar de los periodos Terciario Superior y Cuaternario, dando como resultado una morfología actual constituida por altiplanicies y cumbres por encima de los 4,000 m.s.n.m.; así como valles y cañones que drenan agua hacia las vertientes de los océanos Pacífico y Atlántico, a través de los ríos Mantaro y Huallaga, formando en la zona de altiplanicies, valles abiertos y cañones con laderas empinadas, ubicados entre los 3,000 m.s.n.m. y los 1,000 m.s.n.m.

Durante los periodos Terciario Superior y Cuaternario, se produjeron fenómenos geodinámicos externos, como: deslizamientos, aluviones, huaycos, entre otros, que ocupan la parte baja de las laderas del valle del Mantaro, como los deslizamientos en el área de influencia del embalse – Derrumbes 3, 4, 5, 6, 7, 8 y 9–, que son antiguos (Pleistoceno) y con aparente estabilidad; a diferencia del Derrumbe 5, un deslizamiento reactivado en su

parte inferior, que originó la remoción e inestabilidad del material de las partes media y superior de la ladera.

Es necesario indicar que el valle del Mantaro presenta desde aguas abajo de Huancayo hasta Tablachaca varios deslizamientos ocurridos en el Periodo Cuaternario (Pleistoceno), como los de Laria y Pilchaca, con estabilidad aparente. También, en el sector entre Tablachaca hasta el deslizamiento de Condorsenga (1940), las laderas del valle del Mantaro presentan deslizamientos antiguos y recientes con aparente estabilidad, como los de Quichicani (1950), Llacta Huayjo, Anco, Tocarayoc; o como el deslizamiento de Mayunmarca (ocurrido el 25 de abril de 1974, en la margen derecha del río Mantaro, a 30 km aguas abajo de la presa de Tablachaca), que causó el represamiento del río Mantaro por más de 40 días.

3.5.2. Unidades litoestratigráficas

En la cuenca media del valle del río Mantaro se encuentran rocas de edades que van del Paleozoico inferior y posiblemente desde el Precambriano, hasta el Cuaternario pero con algunas lagunas estratigráficas. La columna litoestratigráfica y geocronológica del área de influencia del proyecto, muestra en forma resumida las relaciones estratigráficas con el substrato Paleozoico, que posiblemente llega hasta el Precambriano, constituida por rocas metamórficas, representadas en esta región por el Grupo Excélsior, cubiertas discordantemente por los grupos Ambo, Tarma y Copacabana del Paleozoico superior, con incipiente grado de metamorfismo. Cierra en forma discordante el ciclo posherciniano la serie detrítica y volcánica del Grupo Mitu.

Finalmente, yace en forma discordante la secuencia estratigráfica del ciclo andino, constituida por unidades formacionales clásticas y calcáreas del Jurásico-Cretáceo; tal como se puede observar en los planos de geología regional (revísense los planos RMG-GE-003 al RMG-GE-008, del Anexo 6, de

la presente tesis).

a. Grupo Excélsior Devoniano (D-e): El basamento Pre-mesozoico de la región está formado por un complejo de rocas metamórficas, mapeadas por el Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico (Ingemmet), en el cuadrángulo de Pampas en la hoja de Huancavelica, con el nombre de Grupo Excélsior. Por lo general, se atribuye que estas rocas serían del Paleozoico inferior, y por consiguiente las más antiguas que afloran en la región.

El basamento Premesozoico constituye el geoanticlinal que forma parte de la Cordillera Oriental, que separa a la cuenca de sedimentación mesozoica occidental y oriental.

Las observaciones de campo y de literatura revelan que el Grupo Excélsior tiene en esta región dos horizontes –inferior y superior–, diferenciados por el grado de metamorfismo.

El horizonte inferior está conformado por esquistos con cuarzo sericita y clorita, con marcado metamorfismo de bajo grado, que corresponde a la fase de esquistos verdes. Mientras que el horizonte superior presenta intercalación de filitas pizarrosas y carbonosas de color gris oscuro a negruzcas, cuarcitas, filitas cuarcíticas, y lentes y venas de cuarzo.

El espesor de este grupo se estima en más de 2,000 m. Estas rocas afloran en las laderas del embalse, en las laderas de la presa de Tablachaca y en los primeros 9 km del túnel de aducción excavado en esta litología (véanse los planos RMG-GE-003 al RMG-GE-008, del Anexo 6). Por correlación con otras secuencias mapeadas en los Andes

centrales peruanos, se asigna la edad Devoniano.

La litología del Grupo Excélsior ha sido afectada por la tectónica herciniana, y tiene un fuerte plegamiento y esquistosidad polifásica. Asimismo, los ejes de plegamiento coinciden con la tendencia regional de las estructuras N-NO a S-SE; y con los planos de esquistosidad, que varían entre 50° a 80° al O-SO. En la zona del embalse y el túnel de aducción, es casi transversal al valle y al eje del túnel.

El Grupo Excélsior es la base de la secuencia estratigráfica en el área del Derrumbe 5 y representa a las rocas más antiguas en el área, que están intensamente plegadas con diferentes grados de metamorfismo.

El basamento de rocas metamórficas reconocidas en el extremo Este del Derrumbe 5 durante el Estudio Definitivo, son las mismas unidades litoestratigráficas mapeadas y diferenciadas por el Consorcio INGETEC-SVS, a partir de la discordancia Grupo Ambo/Grupo Excélsior, a una cota de 3,075 m.s.n.m., en la margen derecha de la presa. Este perfil litológico está conformado por:

- Pizarras negras silíceas de laminación gruesa, medias a duras; con sectores carbonosos, de 40 m a 50 m de potencia.
- Bancos de cuarcita meteorizada, rugosa, moderadamente oxidada, fracturada, diaclasada, con granulometría fina y de color pardo, cuya potencia varía entre los 90 m y los 100 m, de acuerdo con el mapeo superficial de campo.
- Pizarras carbonosas, con laminación fina, blandas, superficies de fricción y plegamientos locales, fisibles por planos de foliación debido

a su contenido carbonoso. Su potencia varía entre los 70 m y los 80 m, según los registros de excavación en la galería existente. Aparentemente, sobre la secuencia de esta roca, se produjo el Derrumbe 5.

- En la base se encuentra una serie de esquistos y filitas cuarzosos, producto del metamorfismo regional, de color gris oscuros a gris parduscos, conformados por láminas finas, duras y discontinuas de pizarras englobando lentes de cuarcita de 2 cm a 5 cm de potencia. A veces, también, predominan lentes de cuarcita, y en otras las venas de pizarra, dando un aspecto amigdaláceo a la roca. En general, la roca posee estructura compacta, textura laminar y granulometría fina. Los afloramientos se encuentran afectados por fallas, pliegues estrechos y zonas de cizalla locales. Estas rocas afloran en la margen derecha de la presa y aguas abajo de esta. Este tipo de roca también se encuentra en las embocaduras de las galerías; su límite superior se desconoce por estar cubierto con sedimentos del depósito coluvial.

En el límite Este del Derrumbe 5, a unos 80 m de la perforación H-100 y a 95 m de la perforación H-67, el Grupo Excélsior se encuentra infrayacente en contacto discordante con el Grupo Ambo. La estratigrafía en ese sector se puede revisar con mayor detalle en los planos RMG-GE-003 al RMG-GE-008, del Anexo 6 de la presente tesis.

- **Nivel 1 (D-e):** Son pizarras con graduación de color gris oscuro a gris verdoso por meteorización, foliadas, compactas, con intercalaciones de cuarcita gris de grano fino calcárea, de hasta 4 m de espesor. Estas rocas se encuentran en la ladera entre los 3,115 m.s.n.m. y 3,085 m.s.n.m. También se encontraron en la perforación H-100, a lo largo de 49 m, según los registros y fotografías de dicha perforación. La estratigrafía de este nivel está conformada por pizarras con

intercalaciones de metareniscas y metalimolitas con niveles calcáreos. Este nivel es litológicamente diferente al de las pizarras encontradas a la altura de la corona de la presa y en el nivel 4.

- **Nivel 2 (D-e):** Se trata de cuarcita gris pardusca, de grano fino, compacta, con estratos de 20 cm y 30 cm de espesor. Estas rocas afloran por debajo de las pizarras entre los 3,085 m.s.n.m. y los 3,026 m.s.n.m., así como en los últimos 27 m de la perforación H-100.
- **Nivel 3. (D-e):** Constituido por esquisto gris pardusco, de grano fino, compacto, como lentes delgados englobados en finas láminas de pizarra. Estas rocas muestran un aspecto amigdaláceo, con intercalaciones delgadas de cuarcitas, y afloran en la ladera a una cota entre 3,026 m y 2,918 m.
- **Nivel 4:** Integrado por pizarra carbonosa, de color negro, laminada, grano fino y compacto. En el sector, esta roca se encuentra en contacto con el material del paleoderrumbe y afloran en la ladera, entre los 2,918 m.s.n.m. y los 2,890 m.s.n.m. En este nivel es similar al aflorado en la corona de la presa.
- **Nivel 5:** Que contiene esquisto con alternancias de filitas cuarzosas de color gris, compactas, foliadas, que afloran a partir de los 2,890 m.s.n.m. hasta el estribo derecho de la presa Tablachaca.

En las cumbres al sur del Derrumbe 5, yacen sobre el complejo metamórfico basal, local y de modo discordante, rocas clásticas de los grupos Ambo y Mitu del Permiano medio a superior (véanse los planos RMG-GE-003 al RMG-GE-008 del Anexo 6 de la presente tesis).

b. Grupo Ambo (Ci-a)-Carbonífero inferior: En líneas generales, se trata de metagrauwacas, metareniscas, filitas y microconglomerados. Esta litología de la Edad Paleozoica-Carbonífera inferior yace en discordancia sobre el Grupo Excélsior, cuyo contacto ondulado está en el extremo oriental del Derrumbe 5, a 3,100 m.s.n.m., y en su lado occidental está fallado. Los afloramientos conforman un cordón de rocas masivas, bien estratificadas con algunos pliegues locales, que delimitan al Derrumbe 5, en el lado este. Al extremo oeste, el contacto discordante se observa en la parte alta, a lo largo de varios metros. El grupo en la parte oeste del área está conformado por los niveles que van de la base al techo.

- **Nivel 1:** Constituido por metagrauwaca basal con fragmentos redondeados y subredondeados de cuarcita y esquistos hasta de 5 cm de diámetro, y con estructura compacta y color gris.
- **Nivel 2:** Constituida por una secuencia interestratificada de filitas grises con metarenisca gris a gris parduzco, grano medio a fino, en capas de 10 cm a 30 cm. El espesor de esta secuencia varía entre 45 m y 50 m.
- **Nivel 3:** También es una secuencia de metagrauwacas pero de color gris violáceo, con rodados finos de cuarcita y pizarra en estratos hasta de 1.5 m de espesor. También tiene intercalaciones de metareniscas gris, grano fino, foliaciones y lentes con hasta de 7 m de potencia, y caliza gris oscura. Esta secuencia tiene unos 19 m de potencia.
- **Nivel 4:** Integrado por metarenisca gris verdosa clara, de grano muy fino y laminada con 15 m de potencia.
- **Nivel 5:** Es de metarenisca gris violácea clara y gris verdosa clara, de

grano medio y 5 m de potencia.

- **Nivel 6:** Compuesto por metarenisca gris verdosa clara, de grano fino, foliada y con unos 40 m de potencia.

En la parte oriental del área de contacto, existe discordancia ya que el grupo está conformado por metareniscas de color marrón violáceo claro, que son de grano fino y estratos delgados, y por intercalaciones de metagrauwacas gris parduscas con fragmentos de cuarcita y pizarra.

En la perforación H-100, ubicada en la parte alta del Derrumbe 5, se perforó 29.2 m en parte de las rocas del Grupo Ambo, encontrándose lo siguiente: metarenisca marrón violácea y gris pardusca con intercalaciones de metarenisca gris clara. En la parte inferior existe un lente de metagrauwaca fina gris clara, con fragmentos de cuarcita y pizarra, y con un espesor de 1.3 m (véanse los planos RMG-GE-003 al RMG-GE-008 del Anexo 6 de la presente tesis).

c. Cuaternario: Las formaciones rocosas referidas anteriormente, conforman el substrato rocoso (basamento) sobre el cual yace con mayor o menor potencia una variedad de depósitos cuaternarios, constituidos por depósitos detríticos de origen fluvial, aluvial, diluvial, y depósitos de deslizamiento de composición variada. En el área del Derrumbe 5 y en la zona de influencia, destacan los siguientes: barra de sedimentos lagunares (Qr-la), depósitos coluviales (Q-c), paleoderrumbe (Qp-pd), depósitos aluviales antiguos (Qp-al) y paleocoluvial de pizarra (Qp-cp).

- **Barra de sedimentos lagunares (Qr-la):** Esta denominación se asigna a los materiales acumulados por la sedimentación del embalse (lagunar) y que están rellenando el fondo de este, diferenciándose

niveles de: arena, grava arenosa, arcilla limosa, limo y arcilla, intercalados en diferentes proporciones, predominando la arena y grava en la cota del embalse.

- **Depósitos coluviales (Q-c):** Estos materiales se acumulan sobre la superficie de la ladera de la zona inestable. Están conformados por fragmentos subangulares de esquistos, metarenisca, cuarcita, fillita pizarrosa, meteorizados, sueltos de variado tamaño, con matrices de limo arcilloso y arenoso. Estos materiales se acumulan en las depresiones al pie de las laderas con mayor pendiente, por acción de la gravedad y arrastradas por las lluvias. Su potencia varía entre los 5 m y 70 m, lo cual se indica en el plano de geología local, en las cuatro secciones longitudinales y seis secciones transversales (véanse los planos RMG-GE-003 al RMG-GE-008 del Anexo 6).
- **Depósitos aluviales antiguos (Qp-al):** Este material ocupa la parte baja de la ladera en contacto con las aguas del embalse; corresponden a depósitos aluviales antiguos del río Mantaro, constituidos por gravas y cantos de variada composición que forman depósitos en terrazas de hasta más de 20 m. También se encuentran terrazas aluviales con gravas, arenas y limos con espesores de hasta 20 m, aguas abajo de la presa y en la carretera Mantacra-Quichuas.
- **Coluvial de pizarra y/o paleocoluvial de pizarra (Qp-cp):** Material conformado por algunos bloques de pizarras grises negruzcas e intemperizadas, con predominio de arcillas, limos y arenas negras de consistencia media y medianamente densas. En el contacto inferior predomina arcilla de hasta 1.5 m de potencia. Este material se encuentra en la parte baja de la ladera del Derrumbe 5, cubierto por el depósito coluvial (Q-c) y el paleoderrumbe (Qp-pd). En el análisis

de la presente tesis, se tomaron las investigaciones de las galerías existentes y de las perforaciones diamantinas H-2, H10, H-13, H-17, H-18, H-19, H-35, H-37 y H-69. En las galerías G-1 y G-3, cuya exploración y muestreo se realizó en el 2005, también se encontraron dichos materiales.

Este coluvial de pizarra es un depósito del Cuaternario antiguo con una morfología de terrazas y escarpas escalonadas, producto del proceso de profundización y erosión durante la etapa Cañón. Por eso es que en algunas terrazas hay presencia de depósito aluvial, así como material de coluvial de pizarra sobre el basamento rocoso del Grupo Excelsior, tal como se muestra en las secciones geológicas longitudinales A-A', B-B', C-C' y D-D' (véanse los planos RMG-GE-003 al RMG-GE-008 del Anexo 6).

- **Paleoderrumbe (Qp-pd):** Se localiza en la parte central de la ladera del Derrumbe 5, parcialmente cubierto por depósitos coluviales. Está constituido por bloques de cuarcita, esquistos y pizarras de color gris a gris pardusco, fracturados, oxidados, y algunos con superficies de fricción que en ciertos sectores contienen matriz areno-arcillosa de color marrón claro.

Estos materiales fueron encontrados en las perforaciones H-101 a H-104, con un espesor de 72.6 m y 29.4 m, reposando sobre brechas cuarcíticas y esquistosas, con potencias de 35 m a 28.6 m. El conjunto de la masa deslizada yace sobre material blando brechado de pizarra arcillosa milonitizada, de mediana plasticidad, con espesores entre 24 m y 36.7 m, que es la zona donde se desplaza el inclinómetro (véase el Anexo 3, Registro y Fotografías de Perforación).

La superficie del plano de deslizamiento a nivel profundo se puede observar en las secciones geológicas longitudinales A-A', B-B', C-C' y D-D' elaboradas (revísense los planos RMG-GE-003 al RMG-GE-008 del Anexo 6).

3.5.3. Estructuras geológicas

Los Andes peruanos tienen una orientación general NO-SE, rumbo que también presentan las mayores estructuras: pliegues, fallas, elongación de intrusivos, etc. Estos rasgos tectónicos son el resultado de varios procesos orogénicos y magmáticos ocurridos durante los periodos Paleozoico, Mesozoico y Cenozoico.

Las unidades litoestratigráficas del Derrumbe 5 están constituidas por rocas metamórficas que han sido plegadas y falladas con una tendencia regional de rumbo N20°-30°O, por efectos del ciclo tectónico hercínico durante el Paleozoico y el ciclo tectónico andino entre fines del Cretácico y Terciario.

El área del Derrumbe 5 presenta las siguientes estructuras geológicas: discordancias, fallas, fallas menores y otras discontinuidades, las cuales fueron reconocidas en la superficie y en las galerías de exploración.

a. Discordancia: Las rocas metamórficas del Grupo Excelsior están separadas de aquellas del Grupo Ambo por un contacto ondulado que representa un periodo de no-deposición, que se observa en el extremo oriental del Derrumbe 5, a 3,100 m.s.n.m. En cambio, en el lado occidental, este contacto se encuentra fallado.

b. Fallas: En el área investigada por esta investigación, se encuentran fallas precuaternarias que han contribuido a crear el fenómeno geodinámico llamado Derrumbe 5. Este, se encuentra limitado por la proyección en superficie de las fallas Oeste y Central (se han detectado otras fallas menores en el basamento rocoso del Grupo Excélsior durante la exploración de las galerías de drenaje existentes), lo cual ha contribuido a la orientación del deslizamiento en sentido nor-noroeste, en dirección de la presa y embalse de Tablachaca.

- **Falla Oeste:** Esta falla es normal, cuyo bloque oeste formado por rocas del Grupo Ambo desciende con relación al bloque este, formado por rocas metamórficas del Grupo Excélsior. La Falla Oeste tiene rumbo N40°O y buzamiento 60°-70° al SO. Casi en la cota de 2,830 m, el trazo de la falla se desplaza unos 20 m hacia el este, por una falla transversal. Esta falla se puede reconocer a lo largo de 800 m, sobre la superficie del Derrumbe 5. También se observa que el trazo de la falla desde el nivel del embalse hasta la cota 2,875 m, coincide con el contacto discordante entre los grupos Ambo y Excélsior. Por otro lado, por encima de los 3,150 m.s.n.m., la falla solo afecta al Grupo Ambo con un alto grado de trituración y fracturamiento.
- **Falla Central:** El trazo de esta falla se observa en el límite oriental del Derrumbe 5, localizada en la parte central. Es una falla normal que afectó las rocas del Grupo Excélsior. El bloque superior se desplazó hacia el oeste y posteriormente fue afectado por deslizamientos y derrumbes, ocasionados por erosión y profundización del río Mantaro. Se detectaron fallas en las galerías existentes que afectan las pizarras carbonosas. La falla en la superficie del terreno tiene rumbo N25°E.

En el nivel de las galerías el rumbo es N10°E, con buzamiento variable entre 30° y 40° NO; esto mismo se observa en el lado oriental,

a lo largo de casi 400 m. Con las exploración y excavación de las galerías G-3 y G-4 en el 2005, se confirmó una intensa fracturación en la roca de esta falla.

La Falla Central se caracteriza por presentar cerca de su traza roca triturada en el plano superior, con una zona de brecha de 80 cm a 12 m de espesor, determinada en las perforaciones H-101 a H-104, y conformada por arena limosa y arena arcillosa con fragmentos de cuarcita y pizarras (que corresponden a una brecha de la falla). En algunos sectores, la roca suprayacente al plano de la falla fue erosionada dejando expuesta a la intemperie la brecha, que fue cubierta después por un paleoderrumbe. En el interior del macizo rocoso, de acuerdo con las perforaciones antes citadas, por debajo de la brecha, se encuentra una zona de roca muy fracturada, con un espesor de entre 10 m y 39 m.

- **Otras fallas:** La litología de los grupos Excélsior y Ambo que dan límite al Derrumbe 5, presenta estructuras precuaternarias, como fallas locales de poco desplazamiento y discontinuidades con dirección N-NO, NO y E-O. En el lado oeste del Derrumbe, se observa a una altura de 2,830 m.s.n.m. una falla transversal este-oeste, que afecta a las rocas del Grupo Ambo y desplaza a la pizarra Excélsior; y a su vez al trazo de la falla oeste, unos 20 m hacia el este. Más al sur de esta falla, hay otras menores; con desplazamientos de casi 5 m, con un espesor del material cizallado menor a 2 m. Asimismo, por encima de los 3,000 m.s.n.m., se observa la traza de una falla de poco desplazamiento, de rumbo norte-sur, conjugada con relación a la falla oeste. El trazo de esta falla coincide con el de la falla F-3, identificada en la galerías de exploración G-2 y de drenaje S-220, S-200W y S-266. En el sector oeste, entre la escarpa del embalse y la falla transversal este-oeste, se reconoce una falla con rumbo N50°O e

inclinación próxima a la vertical, con desplazamiento del Grupo Ambo hacia el NO con respecto a las pizarras del Grupo Excélsior.

El basamento de rocas metamórficas del Grupo Excélsior, que aflora en el sector este del Derrumbe 5, aguas abajo de la presa Tablachaca, presenta fallas menores de corta longitud, y espesores de cizallamiento menores a un metro, con rumbo variable entre NS y NO-SE. Cerca de la trinchera T-16, se observa también una falla con rumbo N45°E buzando 70° al NO, que desplaza esquistos y una veta de cuarzo de unos 5 m.

Por último, el Derrumbe 5 está entre un anticlinal por su lado sureste; y un sinclinal, por el oeste.

c. Patrón estructural: Las discontinuidades, foliación y estructuras geológicas son productos de la zona de esfuerzos y ciclos tectónicos herciniano y andino, que están bien representados en los grupos Excélsior y Ambo, con dirección predominante nor-noroeste a sureste; es decir, hacia la presa y embalse de Tablachaca, con buzamientos variables entre 50° y 85°, hacia el oeste-suroeste.

Los datos estructurales más importantes que se encuentran en el Derrumbe 5, son:

- **Foliación:** Presenta orientación N22°O, buzando con 75° y 81° al SO.
- **Diaclasas o fracturas:** En la galería S-200E, la mayor densidad de fracturas están orientadas N45°- 50°O, buzando entre 20° y 33° al SO. En la galería existente, ubicada a 60 m por encima de la anterior, las fracturas principales están orientadas N61°O, buzando 33° al SO.

En superficie, en el sector oriental, entre los 2,700 m.s.n.m. y los 3,000 m.s.n.m., las rocas de Excelsior varían en buzamiento, de 75° a 25° al SO.

- **Zonas de esfuerzo:** De acuerdo con la revisión de la información existente en la excavación de galerías de exploración y en los registros de excavación de galerías, se menciona la presencia de zonas de falla:
 - En la galería existente entre las abscisas KO+192 y KO+200, se describe una zona de panizo (arcilla) de hasta 7 m de potencia, conformada por arena arcillosa con bloques de filita (pizarra) dentro de la masa triturada y alterada, con orientación N21°O, e inclinación de 40°SO.
 - En la galería S-200 O entre las abscisas KO+160 y KO+163, se describe una zona de panizo (arcilla) de hasta 4 cm de potencia, conformada por filita (pizarra) satinada. La orientación de esta zona es N28°O, inclinada 70°NE.
 - La falla F-1 se reporta en la galería S-250 y su ramal S-252, abscisa KO+153. En estos sitios se encuentra panizo (arcilla) de 30 cm y 4 cm de potencia; y el rumbo de la falla conforma un plano ondulado orientado N30°O/60°SO y N20°/.54SO. Aun cuando en la galería S-200 se reporta en la falla F-1 la abscisa KO+177 , no se dispone de información en ese sector. Durante la revisión de las zonas de cizalla en las galerías, para esta investigación se estableció que esta falla es la misma falla Central y presenta una orientación a nivel de galerías de N10°E/40°NO. Con las galerías G-3 y G-4 excavadas en el 2005, se corroboró la existencia de la Falla Central

en el interior del macizo rocoso.

- La falla F-3 en la galería S-200E se reporta en la abscisa KO+287 con 4,0 cm de panizo (arcilla) y filita (pizarra) muy fracturada, orientada N70°O/70°NE, esta falla también se reporta en la galería inclinada S-220 en el KO+084/088 con filita (pizarra) triturada orientada N20°- 40°O/45°-61°NE. En la galería G-2 excavada en el año 2005 se comprobó el rumbo e inclinación de esta falla, además se estableció que corresponde a la identificada en superficie sobre la cota 3 125 msnm.

En la parte oeste del área, las rocas del Grupo Ambo tiene orientación general hacia el noroeste y siguen el mismo patrón de plegamiento de las rocas de Excélsior. Desde el embalse hasta la cota de 2,900 m, tienen buzamientos entre 65° y 85° SO. Entre las cotas de 2,900 m y 3,160 m, el buzamiento varía entre 30° y 60° SO, llegando hasta 15° en la parte oriental por encima de los 3,100 m.s.n.m.

3.5.4. Procesos geológicos incidentes en el Derrumbe 5

- a. Aguas subterráneas y permeabilidad:** En cada una de las galerías de drenaje existentes se observó que existe filtración de agua subterránea en cantidades menores a 5 l/s.

La referida filtración es algo mayor en la galería superior, sobre todo en el tramo que cruza la falla central y en el tramo final de dicha galería. Las secciones geológicas H-H' y F-F' muestran que entre las galerías existentes también hay presencia de agua subterránea que fluye con pendiente moderada, atravesando la galería hacia el borde del embalse, limitado por el carrizal.

Cabe indicar que el régimen de precipitación pluvial en la zona de Tablachaca, en época lluviosa, entre octubre y abril, alcanza un máximo mensual de 200 mm, según las estaciones meteorológicas de Mejorada y Quichuas. De estas lluvias estacionales, una parte es captada por el drenaje superficial y una buena parte se infiltra a través de los depósitos coluviales y percola por masas rocosas fracturadas y brechadas del paleodeslizamiento y/o paleoderrumbe (Qp-pd).

El modelo geológico interpretado mediante cuatro secciones longitudinales y seis secciones transversales, ha permitido evaluar el basamento rocoso de rocas metamórficas afectadas por dos ciclos tectónicos –el herciniano y el andino–, destacando como estructuras principales las fallas central y oeste que se interceptan en la parte alta del deslizamiento, así como otras fallas menores y esquistosidades.

Esta condición geológica-estructural del basamento rocoso infrayacente al material de cobertura del deslizamiento (Derrumbe 5), favorece la presencia de agua subterránea, que en parte es drenada por las galerías existentes, así como por las galerías proyectadas.

Estas mismas secciones sirvieron como base para la ejecución de los análisis geotécnicos y el correspondiente diseño definitivo del sistema de galerías para mejorar la estabilización del Derrumbe 5.

Para interpretar los niveles freáticos presentes en el área del Derrumbe 5, en la parte geotécnica se han evaluado los registros de los piezómetros instalados, correlacionándolos con los registros de las perforaciones.

Teniendo en cuenta que el basamento rocoso del Derrumbe 5 está constituido en el lado este por esquistos, cuarcitas y filitas pizarrosas, en la parte central y oeste predominan pizarras negruzcas, generalmente del Grupo Excelsior, por donde están proyectadas las galerías de drenaje. Estas últimas, presentan propiedades anisotrópicas, con permeabilidad baja, menor a 10^{-8} cm/s; mientras que en sentido de la foliación y sistema de fracturamiento, se asumen valores del orden de 10^{-6} que, sin embargo, en horizontes fracturados y alterados, puede llegar a 10^{-4} cm/s.

Se puede considerar como referentes los coeficientes de permeabilidad de las rocas del Grupo Excelsior, que se encuentran en el Informe del Estudio de Factibilidad del Túnel II de la CH Mantaro. Allí, se presentan los resultados de los ensayos Lugeon, cuyos coeficientes de permeabilidad varían entre $1,60 \times 10^{-4}$ y $2,38 \times 10^{-7}$ cm/s. Esta poca permeabilidad registrada de las perforaciones en este tipo de rocas metamórficas, indica que la infiltración de agua es reducida.

b. Procesos geológicos y su relación con el agua: Entre estos procesos, se pueden mencionar los siguientes:

- **Disolución:** Con efecto mínimo de pérdida de material en rocas y suelos en el área porque no afloran rocas solubles pero que pueden ocasionar cárcavas y/o hundimientos.
- **Erosión y arrastre:** Su efecto la es pérdida de material y lavado que produce erosión, acarreamiento, problemas de hundimientos y colapsos. Cabe indicar que parte de este proceso erosivo intervino en el proceso de desestabilización de las masas del Derrumbe 5.

- **Alteración:** Como están sometidas a la acción agresiva del medio ambiente, las rocas sufren modificaciones y se alteran sus características y propiedades originales, tales como: resistencia, permeabilidad y color.

Como resultado de la evaluación geológica del área del Derrumbe 5, se observa que tanto en las pendientes de las zonas de desplazamiento existentes, como las laderas de las rocas con basamento fuera del deslizamiento, son propensas a sufrir los efectos naturales de los procesos indicados anteriormente (intemperismo, erosión-arrastre y alteración). Y es que en las laderas escarpadas aguas arriba del Derrumbe 5, al pie del embalse, se observan: escarpas de talud rocoso potencialmente inestables por fisuras de alivio de tensión debido a descarga lateral paralela al embalse; y erosión activa en las escarpas del talud rocoso adyacente al embalse.

Los efectos de estos procesos geológicos se deben tener en cuenta con mayor razón en los ciclos climáticos extraordinarios, como el fenómeno de El Niño. La información histórica indica que las temporadas más lluviosas que ha soportado el país se produjeron en los años 1856, 1891, 1925, 1983 y 1998, con los consiguientes daños económicos sufridos por la región centro-norte.

La información histórica reporta también que el clima y los terremotos catastróficos han tenido efectos socioeconómicos en el país, y causado pérdida de vidas humanas. Los más importantes son:

- Aluvión de Huaraz (1941).
- Deslizamiento del cerro Cóndor-Sencca, en el río Mantaro, (agosto de 1945).

- Avalancha del nevado Huascarán (enero de 1962).
- Avalancha del nevado Huascarán por efecto del terremoto de magnitud 7.7° (31 de mayo de 1970).
- Avalancha en la mina Chungar, en Cerro de Pasco (marzo de 1971).
- Deslizamiento de Mayunmarca, ocurrido a 30 km aguas abajo de la presa de Tablachaca, y que represó el río Mantaro por más de 40 días (abril de 1974).
- Reactivación y/o deslizamiento del Derrumbe 5 en Tablachaca, ocurrido entre 1972 y 1982.

c. Morfología del área del Derrumbe 5: El valle interandino del río Mantaro entre Mantacra y la Hacienda Santa Rosa, forma un codo topográfico en dirección noreste-sureste. Antes de la presa, tiene rumbo N60°E, luego quiebra hacia el S40°E, donde está el Derrumbe 5, por la erosión de rocas blandas pizarrosas y porque el embalse es más ancho. Después continua hacia el este y noreste, aguas abajo de la presa, donde el fondo del cauce es una garganta escarpada menor de 50 m de ancho y 80 m de altura, que está labrada en rocas paleozoicas y describe el siguiente perfil transversal:

- El altiplano con rocas del Grupo Mitu y pendientes moderadas entre 4,000 m y 3,500 m corresponde al piso de un valle ancho y tendido, probablemente de los primeros episodios de la evolución del Mantaro.
- Laderas de pendiente moderada entre 3,500 y 3,300 msnm; luego un fuerte cambio de pendiente que corresponde al proceso del levantamiento andino y las etapas de erosión Valle-Cañón, que generaron laderas escarpadas, potencialmente inestables. Estas, causaron durante el Cuaternario antiguo (Pleistoceno) los fenómenos geodinámicos, denominados paleodeslizamientos, como los

derrumbes 1 al 9; y entre ellos, el Derrumbe 5, que ocupa la ladera derecha de la presa, entre los 3,300 m.s.n.m. y los 2,660 m.s.n.m., que correspondería al primer desplazamiento con un salto de más de 300 m, estando las aguas del embalse en contacto con la base de dicho deslizamiento.

- En la morfología del Derrumbe 5, se reconoce en su superficie una topografía con laderas escarpadas y pendientes variadas, tanto en las partes alta, media e inferior, que corresponden a las primeras masas desplazadas por el paleodeslizamiento. En la parte inferior del Derrumbe, por debajo de los 2,925 m.s.n.m. están las zonas de asentamiento, que se reactivaron en la segunda fase por acción del embalse, entre los años 1973 y 1982. Estas afectaron los depósitos coluviales y al propio paleodeslizamiento, con paquetes de roca metamórfica del Grupo Excélsior y a algunas escarpas que están dentro del anfiteatro del deslizamiento antiguo.
- Morfología topográfica escalonada con terrazas aluviales, escarpas en basamento de rocas metamórficas y depósito coluvial antiguo (paleocoluvial) por profundización de la Etapa Cañón.

En los límites del Derrumbe 5, al este y oeste y en su parte alta, existen superficies con una inclinación de 45°, 60° y 75°.

d. Zonas morfológicas de desplazamiento en el Derrumbe 5: El Derrumbe 5 tiene una morfología que corresponde a un paleodeslizamiento (Qp-pd) ocurrido durante el Cuaternario antiguo (Pleistoceno).

El plano de zonas de desplazamiento y los planos RMG-GE-003 al RMG-GE-008 del Anexo 6 de esta tesis, muestran este proceso geológico-geodinámico, que desplazó en la parte alta a rocas del Grupo Ambo, y a mayor profundidad a las rocas del Grupo Excelsior, con un salto de 200 m entre los 3,300 m.s.n.m. y 3,100 m.s.n.m., generándose una fuerte pendiente entre las laderas y el pie del depósito coluvial. Evidencias de este primer evento de desplazamiento Zd -1 se pueden observar en la Figura 3.6.

El segundo episodio se relaciona con el desplazamiento de la masa a través de la ladera, con presencia de saltos escalonados, hasta represar parcialmente el cauce del río Mantaro. Esta hipótesis es posible, debido al consiguiente desembalse y por la estabilidad que muestran actualmente las laderas.

Las zonas con evidencia de inestabilidad dentro del Derrumbe 5 se delimitaron en las escarpas de asentamiento del terreno, que afectaron sobre todo a los depósitos coluviales. Se agruparon en seis zonas de acuerdo con su posición dentro del Derrumbe 5. Las inspecciones de campo permitieron corroborar estas zonas de desplazamiento.

- **Zonas de desplazamiento Zd-2 y Zd-3:** Se localizan en la parte superior del Derrumbe 5, entre los 3,200 m.s.n.m. y 2,975 m.s.n.m., donde el terreno desarrolla pendientes de 30° a 45°, y el material coluvial varía de espesor, entre 16 m y 40 m, según confirmaron las perforaciones H- 100, H-67 y H-66. En estas zonas se desarrollaron dos escarpas de asentamiento antiguas con estado avanzado de erosión, superficialmente estables.



CUATERNARIO

(Q-c) Coluvial: Fragmentos sueltos, tamaño grava gruesa y media, en matriz limo-arcillosa-arenosa.

(Qp-pd) Paleoderumbes: Bloques de esquistos muy fracturados a triturados con finos de limo-arcillosos gravosos. Espesor hasta 100 m.

CARBONIFERO INFERIOR-MEDIO

(C1-a) Grupo Ambo: Metagrawaca, metareniscas y filitas

DEVONIANO

(D-e) Grupo Excelsior: Esquisto y pizarra gris oscuro con intercalaciones de cuarcita.

Figura 3.6. Frente superior de deslizamiento y zona desplazada con cobertura coluvial.

- **Zonas de desplazamiento Zd-4 y Zd-5:** Estas se localizan en la parte intermedia del Derrumbe, entre los 2,975 m.s.n.m. y 2,925 m.s.n.m. El terreno en esta zona desarrolla pendientes suaves con 15° y 30° de inclinación, delimitadas por escarpas de asentamientos. El espesor del material coluvial varía entre 36 m y 77 m, formando una depresión producto de la erosión y desprendimientos de ladera de derrumbes antiguos.
- **Zonas de desplazamiento inestables Zd-6 y Zd-7:** Estas zonas se localizan en la parte inferior del Derrumbe, entre los 2,925 m.s.n.m. y 2,720 m.s.n.m., donde se encuentra el contrafuerte. Aquí se hallan depósitos de material coluvial y paquetes de roca metamórfica que forman una superficie ondulada con pendiente hacia el embalse. En la zona se observan dos escarpas de asentamiento del terreno de origen antiguo, que se reactivaron durante el llenado del embalse.

El primer desplazamiento Zd-6 se localiza al este del Derrumbe, próximo a la presa, y tiene una cobertura coluvial entre 6 m y 22 m. El segundo desplazamiento, el Zd-7, se ubica al centro, al extremo oeste del área, a una cota de 2,900. Este coluvial ha formado depósitos aislados interrumpidos por paquetes del paleoderrumbe; sin embargo, en la parte inferior de la ladera ha creado un típico depósito de material de desprendimiento que reposa sobre una superficie relativamente plana. Este asentamiento se reactivó con el llenado del embalse, generando grietas en la escarpa antigua (véanse los planos RMG-GE-003 al RMG-GE-008 del Anexo 6).

- e. Revisión del modelo geológico:** El modelo geológico-geotécnico elaborado y presentado en la presente tesis se sustenta sobre la base de las siguientes investigaciones y trabajos de campo:

- Ventanas y piques ejecutados en las galerías de drenaje del Derrumbe 5.
- Cinco perforaciones rotatorias verticales: H-100, H-101, H-102, H-103 y H-104.
- Cuatro galerías de exploración, llamadas G-1, G-2, G-3 y G-4, realizadas en el año 2005.
- Las perforaciones H-70, H71 y H-72 realizadas en 1994, durante los trabajos de rehabilitación de la instrumentación geotécnica.

Estas investigaciones sirvieron para identificar el tipo y calidad de roca, el espesor del material desplazado (coluvial, paleoderrumbe, brecha) y nivel freático, entre otros.

Como actividad preliminar, se realizó una revisión geológica y geotécnica (véase la Figura 3.7), incluyéndose las galerías proyectadas en un modelo gráfico tridimensional.

De esta forma, se mejoró la identificación del agua de infiltración en las zonas de concentración, y se ajustaron las hipótesis acerca del desplazamiento de masas deslizadas. El modelo se interpretó por medio de cuatro secciones geológicas longitudinales: A-A', B-B', C-C' y D-D'; y seis secciones geológicas transversales: E-E', F-F', G-G', H-H' (galería que pasa por el pique), I-I' (galería superior), y K-J (galería inferior), que pasan principalmente por las galerías proyectadas.

Estas secciones ayudaron a evaluar y obtener elementos de juicio para el diseño definitivo de las galerías, teniéndose en consideración la eficiencia del drenaje de las aguas de infiltración con relación al trazado de las galerías (véanse los planos RMG-GE-003 al RMG-GE-008 del Anexo 6).

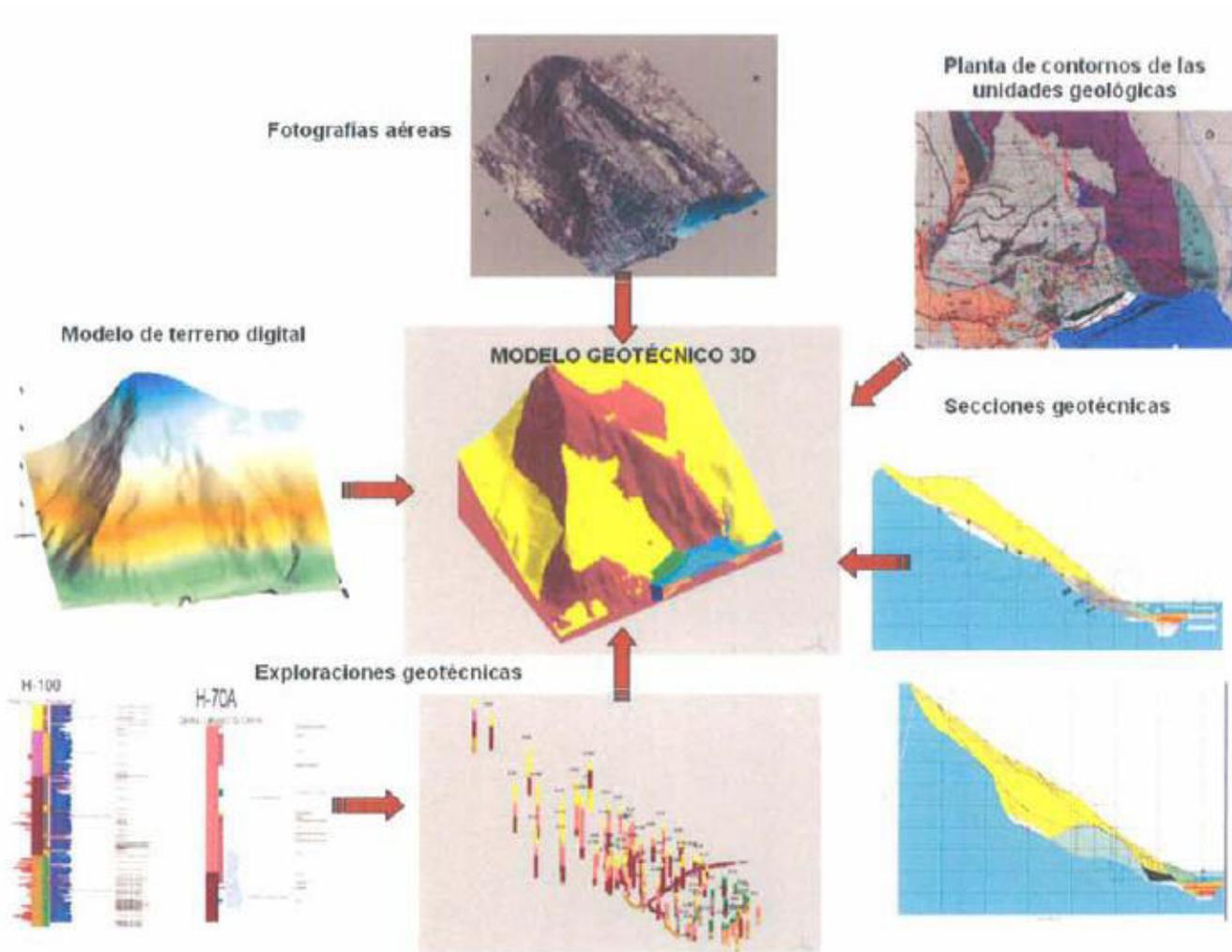


Figura 3.7. Revisión del modelo geológico-geotécnico del Derrumbe 5.

f. Interpretación del modelo geológico del Derrumbe 5: La revisión en campo de cajas de testigos de ocho perforaciones (logueo y recuperación de la muestra de suelo y/o roca) ha servido para evaluar las unidades litológicas e interpretar mejor los movimientos de la masa deslizada, relacionándolos con el paleodeslizamiento y la reactivación de la zona inferior del deslizamiento ocurrida entre 1972 y 1982.

Cabe indicar que la revisión de los testigos de las perforaciones indicadas anteriormente permitió tener una mejor interpretación del modelo geológico relacionado con las condiciones litológicas y estructurales del basamento rocoso, por debajo de la masa deslizada. Además, se pudo hacer posteriormente una revisión del modelo sobre la base de las secciones geológicas y geotécnicas realizadas.

Las formaciones rocosas referidas anteriormente, están cubiertas por una variedad de depósitos cuaternarios, con mayor o menor espesor, constituidos por depósitos detríticos de origen fluvial, aluvial, diluvial; por depósitos coluviales; y por deslizamiento con composición variada.

La interpretación del modelo geológico del Derrumbe 5 se puede resumir en lo siguiente:

El deslizamiento denominado Derrumbe 5 ocupa la ladera derecha del río Mantaro, aguas arriba del estribo derecho de la presa Tablachaca, hasta en casi 300 m en el embalse. Este fenómeno geodinámico se desarrolla entre los 3,300 m.s.n.m. y el cauce del río Mantaro, a 2,640 m.s.n.m.; comprometiendo 800 m de una ladera, en dirección noroeste, y en su centro con una longitud de 600 m en dirección NE-SO.

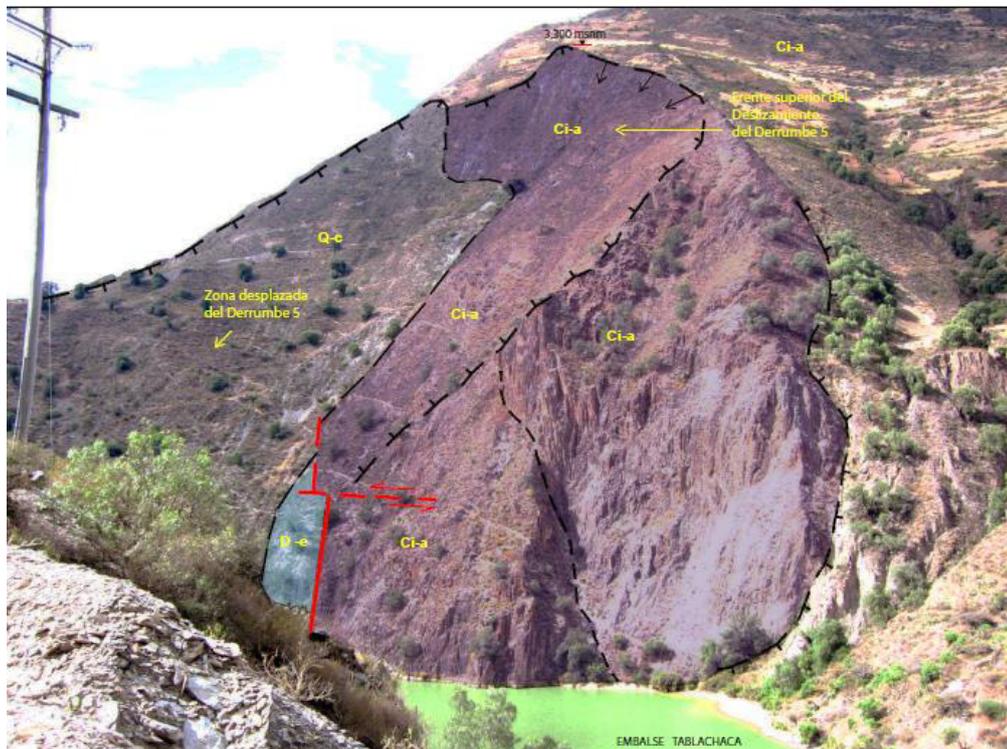
El basamento rocoso que limita al Derrumbe 5 está formado por rocas metamórficas del Grupo Excélsior y rocas meta sedimentarias del Grupo Ambo de la Edad Paleozoica, cuyas unidades litológicas y estructuras geológicas ya han sido tratadas anteriormente. Esta litología está cubierta localmente por depósitos recientes del Cuaternario.

Por la parte superior y el lado oeste, el Derrumbe 5 está limitado por rocas sedimentarias del Grupo Ambo (Ci-a) con metagrauwacas, metareniscas y filitas. Por el lado este, limita con rocas del Grupo Excélsior, constituido por unidades intercaladas de esquistos, cuarcitas y pizarras negruzcas, que están en discordancia a 3,075 m.s.n.m. con rocas del Grupo Ambo.

El Derrumbe 5 limita por el oeste con la Falla Oeste, y por el este con la Falla Central. Otras fallas menores y la foliación que está expuesta en las galerías completan el patrón estructural

Entre el pie del deslizamiento (a 3,100 m.s.n.m.) y la parte central por encima de los 2,925 m.s.n.m. se encuentra un depósito coluvial (Q-c) con potencia variable. Por debajo de dicha cota, hasta el contrafuerte, se encuentra un paleoderrumbe (Qp-pd) con paquetes de roca metamórfica del Grupo Excélsior, cubiertos parcialmente por depósito coluvial.

En la parte media e inferior, frente al embalse, hay presencia de escarpas y laderas con pendiente moderada, producto de los dos últimos desplazamientos ocurridos por la operación del embalse entre 1972 y 1982 (véase la Figura 3.8).



CUATERNARIO

(Q-c) Coluvial: Fragmentos sueltos, tamaño grava gruesa y media, en matriz limo-arcillosa-arenosa.

(Qp-pd) Paleoderrumbe: Bloques de esquistos muy fraturados a triturados con finos de limo-arcillosos gravosos. Espesor hasta 100 m.

CARBONIFERO INFERIOR-MEDIO

(Ci-a) Grupo Ambo: Metagrawaca, metareniscas y filitas

Figura 3.8. Parte superior del frente de desplazamiento del Derrumbe 5.

g. Zonificación de las masas geológicas inestables: Se considera que la masa inestable está conformada por cinco zonas, cuyas características superficiales y profundas son representadas en un plano geológico a escala 1:5000, en seis secciones geológicas longitudinales, de dirección aproximada N30°O.

En el desarrollo de la tesis, se efectuó en campo y en gabinete la revisión de toda información existente, relacionada con la caracterización geológica, estructural y la geomorfología del área de estudio, cuyos resultados se muestran en el plano geológico del Derrumbe 5 a escala 1:1500 (véanse los planos RMG-GE-003 al RMG-GE-008 del Anexo 6); así como con el basamento rocoso y nivel freático, y con las cuatro secciones geológicas longitudinales A-A', B-B', C-C' y D-D'; y seis secciones geológicas transversales F-F', G-G', H-H', I-I' y K-J. Esto permitió mejorar la interpretación del modelo geológico, estableciéndose la zonificación en concordancia con la cronología de los desplazamientos de las masas; así como evaluar las características del basamento rocoso y las unidades del paleodeslizamiento (Qp-pd) con relación al emplazamiento del sistema de galerías proyectadas para drenar en forma eficiente la concentración de aguas subterráneas.

- **Zona 1- Basamento rocoso (D-e):** Está constituida por esquistos, cuarcitas y pizarras y se encuentra en el perímetro del Derrumbe 5, en algunos afloramientos aguas abajo de la presa y en la embocadura de las galerías existentes; están afectadas por foliación y por fracturas menores en diferentes direcciones. Esta litología se encuentra por debajo de la Zona 4 de roca triturada. En general, las perforaciones (véanse los planos RMG-GE-003 al RMG-GE-008 del Anexo), registros y fotografías de las perforaciones como: H-100, H-102, H-103, H-104, H-105, H-70, H-71 y H-72, muestran que han atravesado el basamento

rocoso de pizarras negruzcas en tramos de 5.5 m a 45 m. En el caso de la perforación H-104, los núcleos extraídos muestran una roca sana, fresca, dura, con un comportamiento de roca tipo II pero, por su foliación subvertical y a veces diagonal, su calidad baja a tipo III.

- **Zona 2 - Brecha blanda, roca facturada, triturada y cizallada del paleodeslizamiento y/o paleoderrumbe (Qp-pd-b):** Esta zona representa la base de la masa deslizada o zona de cizallamiento, sobre la cual se desplazó el paleoderrumbe durante el Cuaternario antiguo (Pleistoceno), afectando a rocas de los grupos Ambo y Excélsior en dirección noroeste, en sentido de la pendiente de la ladera hacia el cauce del río Mantaro (que ahora es el embalse de Tablachaca). Las secciones geológicas longitudinales elaboradas en el Estudio de Factibilidad, como IV, V y 1-1, así como las secciones geológicas longitudinales A-A', B-B', C-C, E-E y el plano del basamento rocoso, tienen una superficie con deslizamiento profundo y pendiente subvertical en la zona de arranque, que va disminuyendo hasta casi 45° y es incluso ondulada hasta subhorizontal, en tramos que corresponden a las fallas Central y Oeste.

Es preciso señalar que los registros de las perforaciones ejecutadas por el Consorcio H-100, H-101, H-102, H-103 y H-105, así como las perforaciones H70, H-71 y H-72 (véanse los planos RMG-GE-003 al RMG-GE-008 del Anexo 6), muestran una zona de brecha blanda con panizo y/o milonita distribuida con variada potencia, a lo largo del plano del basamento rocoso. Dicha unidad está formada por fragmentos angulosos del tamaño de grava fina de cuarcita y pizarra con relleno arcilloso de material blando de mala calidad, y corresponde aparentemente a una brecha de falla, que es donde –por lo general– se desplazan los inclinómetros. Esta zona varía su potencia entre los 3.5 m y 36.7 m, como se muestra en las perforaciones H-102 y H-104; y entre

los 6 m y 12.9 m de potencia, como en las perforaciones H-70, H-71 y H-72.

Entre la brecha pizarrosa blanda y el paleoderrumbe, en las perforaciones indicadas anteriormente, hay una sub zona de roca fracturada y triturada con espesor variable de entre 24 m y 35 m, conformado por cuarcita, pizarra y esquistos negruzcos triturados y fracturados, con horizontes cizallados y areno-arcillosos, correspondientes al paleoderrumbe (Qp-pd).

- **Zona 3 - Paleodeslizamiento y/o paleoderrumbe(Qp-pd):** Esta zona es el conjunto de la masa deslizada que se desplazó durante el Cuaternario antiguo (Pleistoceno), afectando a rocas de los grupos Ambo y Excélsior, en dirección noroeste, por la pendiente de la ladera hacia el cauce del río Mantaro (ahora embalse de Tablachaca).

Está constituida por bloques y paquetes de cuarcita, esquistos y pizarras fracturadas con potencias variables entre 72.6 m y 29.4 m, según las perforaciones H-101 y H-104, respectivamente; así como con espesor variable entre los 13.8 m y los 79.3 m en las perforaciones H-71 y H-72; las secciones geológicas B-B', C-C' y D-D' muestran las zonas de mayor espesor. Estos materiales, de brecha arcillosa blanda, reposan sobre la Zona 2, en el plano geológico y en la superficie del terreno, con una predominancia en la parte baja del Derrumbe, entre los 2,925 m.s.n.m. y los 2,720 m.s.n.m., cubiertos de modo parcial por depósitos coluviales.

- **Zona 4 - Brecha de falla:** A diferentes profundidades, entre 30 m y más de 100 m del paleoderrumbe, se observa la presencia de milonitas (roca intensamente triturada al estado de suelo arcilloso), de 0.5 a 2 m de

espesor, que corresponden a zonas de falla (véanse los planos RMG-GE-003 al RMG-GE-008 del Anexo 6).

- **Zona 5 - Paleocoluvial de pizarra (Qp-cp):** En el Estudio de Factibilidad se reporta este depósito en la parte baja de la ladera, conformado en su mayoría por arcilla gris oscura y bloques de pizarra, en condiciones secas es compacto y duro; su potencia se estima hasta 40 m. Este material reposa sobre una terraza aluvial y sobre él yacen depósito coluvial y material del contrafuerte. Se considera que este depósito se acumuló al pie de la ladera durante la etapa pos-estabilización del Derrumbe 5. Este material es fácilmente erosionable, motivo por el cual cuando se inició la operación del embalse en los años 1972-1973 se produjo la reactivación de la segunda fase del Derrumbe 5 causando las zonas de desplazamiento inestables Zd-6 y Zd-7 ubicadas en la parte media y baja de las laderas frente al embalse.
- **Zona 6 - Coluvial desplazado en el proceso de estabilización del paleodeslizamiento (Q-c):** Está constituida por depósitos coluviales recientes con grava fina a gruesa, y algunos bloques subangulosos mezclados con arena limosa, pero en algunos sectores se encuentran sueltos sin matriz. Este material cubre la mayor parte de la superficie del Derrumbe con una potencia variable de 10 m a 72 m; se distribuye desde la parte alta, a 3,200 m.s.n.m., hasta el límite del contrafuerte. Este material coluvial está presente en las cuatro zonas morfológicas de desplazamiento del Derrumbe 5, cuyas escarpas de desplazamiento antiguas están en proceso de erosión y estabilización.
- **Zona 7 - Coluvial desplazado en la segunda fase de reactivación (Q-c):** Esta zona se localiza en la parte inferior del Derrumbe, entre los 2,925 y m.s.n.m. y los 2,720 m.s.n.m., cerca al embalse. En esta zona, se

encuentran depósitos coluviales y paquetes de roca metamórfica, que conforman una superficie ondulada con pendiente hacia el embalse. También presenta dos escarpas de asentamiento del terreno, de origen antiguo, que se reactivaron durante el llenado del embalse. Las zonas de desplazamiento Zd-6 y Zd-7 pueden ser inestables (véanse los planos RMG-GE-003 al RMG-GE-008 del Anexo 6, de la presente tesis).

h. Génesis del deslizamiento Derrumbe 5: Los resultados de la revisión y evaluación geológica y geotécnica en campo y en gabinete, permiten comprender lo sucedido con la geodinámica del Paleodeslizamiento/Derrumbe 5, posiblemente ocurrido durante el Cuaternario antiguo (Pleistoceno). Luego se da una segunda fase de reactivación tras la construcción de la presa y la operación del embalse entre 1972 y 1982, que afectó la parte baja de la ladera con frente al embalse. Entre las causas que originaron estos fenómenos geodinámicos con desplazamiento de masas, se encuentran las siguientes:

- El basamento rocoso que limita con el Derrumbe 5 está conformado por rocas metamórficas del Grupo Excelsior con unidades litológicas de pizarras negruzcas, cuarcitas y esquistos; cubiertas por rocas meta sedimentarias del Grupo Ambo de la Edad Paleozoica. Estas unidades litológicas tienen diferente comportamiento físico mecánico y han sido afectadas por estructuras geológicas producto de dos ciclos tectónicos: el herciniano y el andino. Esta litología se encuentra cubierta localmente por depósitos coluviales recientes del Cuaternario (Q-c), con presencia de escarpas de desplazamiento antiguas a recientes.
- El área del Derrumbe 5 está muy relacionada con el aspecto litológico y estructural por efecto de las fallas precuaternarias Oeste y Central, que limitan con el paleodeslizamiento/Derrumbe 5, así como con otras fallas

menores. Estas, en conjunto, se pueden asociar a un graben, existiendo tramos que muestran roca sana, dura, con foliación subvertical y diagonal; así como otros tramos débiles y fracturados al estar constituidos por pizarras.

- Como consecuencia del modelo estructural entre dos episodios tectónicos representados por las fallas Central y Oeste, así como otras fallas menores y planos de foliación en dirección NO-SE, se produjo una franja de rocas trituradas como zona de brecha entre las dos fallas principales.
- El proceso de levantamiento andino y las condiciones geomorfológicas y morfológicas desarrolladas durante las etapas erosivas de las superficies Puna, Valle y profundización Cañón, generaron el curso fluvial del río Mantaro, que a través del Cuaternario y la etapa glacial socavaron su cauce, formando inicialmente un valle ancho y tendido que corresponde a los primeros episodios de la evolución de dicha corriente de agua. Luego, el proceso erosivo del río formó tramos relativamente anchos y encañonados con gargantas estrechas –como aquella donde se construyó la presa– y con mayor amplitud en la zona del embalse, presentando depósitos locales aluviales en terrazas y depósitos coluviales sobre laderas de topografía moderada a escarpada.

El área donde se produjo el paleodeslizamiento/Derrumbe 5 tiene una diferencia de nivel de 670 m, entre la parte alta del Derrumbe a 3,300 m.s.n.m. y el cauce a 2,630 m.s.n.m.

- El valle interandino del río Mantaro, en sentido longitudinal, entre Mantacra y Quichuas, forma un codo topográfico en dirección NE-SE. Antes de la presa, tiene rumbo N60°E, luego quiebra hacia el S40°E donde está el Derrumbe. Allí, por la erosión de rocas blandas pizarrosas,

el embalse es más ancho. Después continúa hacia el E y NE, aguas abajo de la presa, donde el cauce forma una garganta escarpada menor de 50 m de ancho y 80 m de altura, labrada en rocas metamórficas del Grupo Excélsior.

- Existe una morfología escalonada con terrazas aluviales, escarpas con basamento de rocas metamórficas y depósitos coluviales antiguos de material arcilloso y bloques de pizarra negruzca (paleocoluvial) sobre terraza aluvial, por el proceso erosivo del río y profundización de la Etapa Cañón.
- Las zonas morfológicas de desplazamiento en el Derrumbe 5 corresponden al primer evento del paleodeslizamiento y/o paleoderrumbe (Qp-pd) ocurridos durante el Cuaternario antiguo (Pleistoceno). Evidencia de este primer evento de desplazamiento es la zona Zd -1, que puede observarse en el Anexo 3 y en las secciones B-B', C-C' y D-D'. De modo objetivo, puede apreciarse el salto, la pendiente del plano de deslizamiento profundo, la zona de brecha blanda en forma irregular entre el basamento de rocas metamórficas y el plano de fallamiento y la zona de brecha superior y paleoderrumbe desplazados a lo largo de la ladera.
- El segundo episodio está relacionado con el desplazamiento de la masa deslizada a través de la ladera con presencia de saltos escalonados y aparente estabilidad. Estas zonas de desplazamiento afectan mayormente a los depósitos coluviales. Se trata de cuatro zonas de desplazamiento denominadas: Zd-2, Zd-3, Zd-4 y Zd-5, localizadas en la parte alta e intermedia del Derrumbe 5. Estas escarpas de asentamiento antiguas están en estado avanzado de erosión y superficialmente estables. La potencia del material coluvial varía entre los 36 m y 77 m.

- Las zonas de desplazamiento inestables Zd-6 y Zd-7 se localizan en la parte inferior del Derrumbe, entre los 2,925 m.s.n.m. y los 2,720 m.s.n.m. En estas zonas se encuentran paquetes de roca metamórfica fracturada, localmente con cobertura de material coluvial, conformando una superficie ondulada con pendiente hacia el embalse. En la zona, se observan dos escarpas de asentamiento del terreno de origen antiguo, que se reactivaron durante el llenado del embalse.

- La zonificación de la masa inestable del Derrumbe 5, según la revisión del modelo geológico y en concordancia con el basamento y la cronología de los desplazamientos de masas, está conformada por las siguientes zonas:
 - Zona 1, de basamento rocoso (D-e).
 - Zona 2, de brecha blanda, roca fracturada, triturada y cizallada del paleodeslizamiento y/o paleoderrumbe (Qp-pd-b).
 - Zona 3, de paleodeslizamiento y/o paleoderrumbe (Qp-pd).
 - Zona 4, de brecha de falla.
 - Zona 5, de paleocoluvial de pizarra (Qp-cp).
 - Zona 6, de coluvial desplazado en el proceso de estabilización del paleodeslizamiento (Q-c).
 - Zona 7, de coluvial desplazado en la segunda fase de reactivación (Q-c).

Las características profundas y superficiales de las diferentes zonas del deslizamiento están representadas en las secciones geológicas: tres secciones longitudinales y cinco secciones geológicas transversales (véanse los planos RMG-GE-003 al RMG-GE-008, del Anexo 6 de la presente tesis).

- Las condiciones hidrogeológicas que saturan el material coluvial en época de lluvias y luego fluyen a través de fracturas y fallas, afectan el basamento de rocas metamórficas, sobre todo en las zonas de brecha de pizarras negras, causando saturación del material de brecha de falla con milonita y/o panizo.
- La formación del embalse produjo la elevación del nivel freático, y la saturación de los materiales de la parte baja del talud.
- Saturación del depósito coluvial antiguo formado por limo arcilloso con arena medianamente densa y algunos bloques y fragmentos de pizarra negra meteorizada, por efecto del agua del embalse y del agua subterránea que fluye y ejerce presión a través de estructuras del basamento rocoso.
- Cambios del nivel del reservorio, que originan un incremento de la presión en los poros del pie del material que forma el talud en el Derrumbe 5. Justamente, esto origina inestabilidad en el talud por la reducción de la resistencia al corte de dicho material. Estos efectos también pueden ocurrir en el contrafuerte, y especialmente en la base.
- Proceso de meteorización que altera a las rocas afectadas por el desplazamiento de la masa deslizada.

3.6. Caracterización Geotécnica

3.6.1. Evaluación de la estabilidad del Derrumbe 5

Para los análisis se seleccionaron tres secciones representativas: A, B y D, que corresponden a las secciones geológicas definidas (véanse los planos RMG-GE-003 al RMG-GE-008 del Anexo 6). En la Figura 3.9 y siguientes, se

muestra la discretización en elementos finitos de estas secciones geológicas y geotécnicas. Obsérvese que en las zonas donde se espera mayor gradiente de tensiones se ha refinado la malla en elementos finitos.

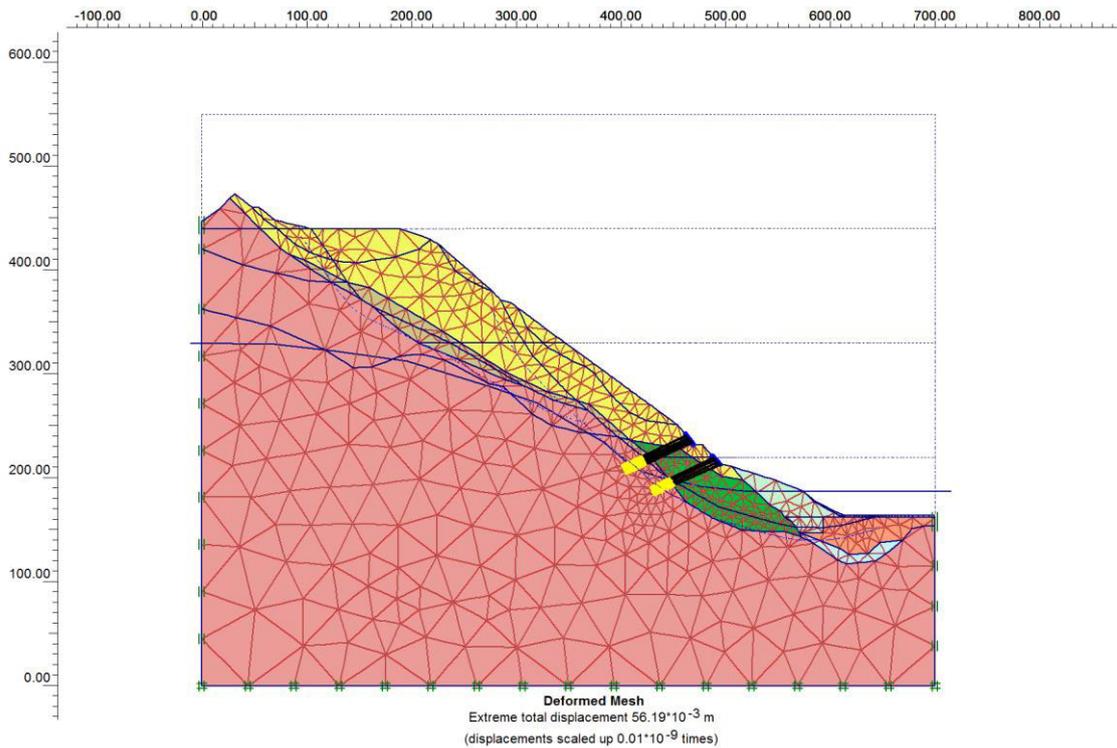


Figura 3.9. Sección A Obsérvese la ubicación de los anclajes.

Los cálculos se hacen usando el modelo Mohr-Coulomb, para los materiales tipo 'suelo'. Se trata de un modelo elastoplástico sin endurecimiento y con elasticidad lineal.

Se destaca que el modelo Mohr-Coulomb aplicado, incluye una característica adicional: no permite la existencia de tracciones en el material.

Adicionalmente, con el fin de mejorar la simulación del movimiento de masas deslizantes, se incorporaron elementos de tipo 'junta', que definen los caminos preferenciales para el movimiento de las masas. Estos caminos se

eligieron de acuerdo con la interpretación geológica y la instrumentación geotécnica.

Los tendones de anclajes se simulan con la combinación de elementos 'anclaje nodo a nodo' y elementos 'geomalla'. La 'geomalla' se usa para simular el bulbo de inyección del anclaje; mientras que el 'anclaje' se emplea como elemento tensor.

El cálculo de los factores de seguridad se realiza con el método de reducción de parámetros resistentes ('phi-c Reduction'). Con este método se reducen progresivamente en cada paso de cálculo los parámetros resistentes de los materiales, hasta que el equilibrio no pueda sostenerse más en el modelo.

- **Sección A:** Se ubica en el lado este del Derrumbe 5. Específicamente, es una sección que atraviesa la zona donde se instalaron los tendones de anclaje. En general en esta zona el nivel freático se encuentra por debajo de las superficies de deslizamiento, las nuevas galerías de drenaje proyectadas no cruzan por esta sección (véanse las figuras 3.9 y 3.10).
- **Sección B:** Esta sección se ubica en la parte central de Derrumbe 5, y cruza las galerías proyectadas. Alrededor de las galerías proyectadas se ha definido una zona de influencia de 22 m x 22 m, donde se realizó un refinamiento adicional de la malla. Asimismo, en la zona de influencia de las perforaciones, se definió un material con características resistentes inferiores a la roca base, con el fin de considerar su posible degradación por efecto de las perforaciones (véase la Figura 3.11).



Figura 3.10. Sección A Obsérvese la ubicación real de los anclajes.

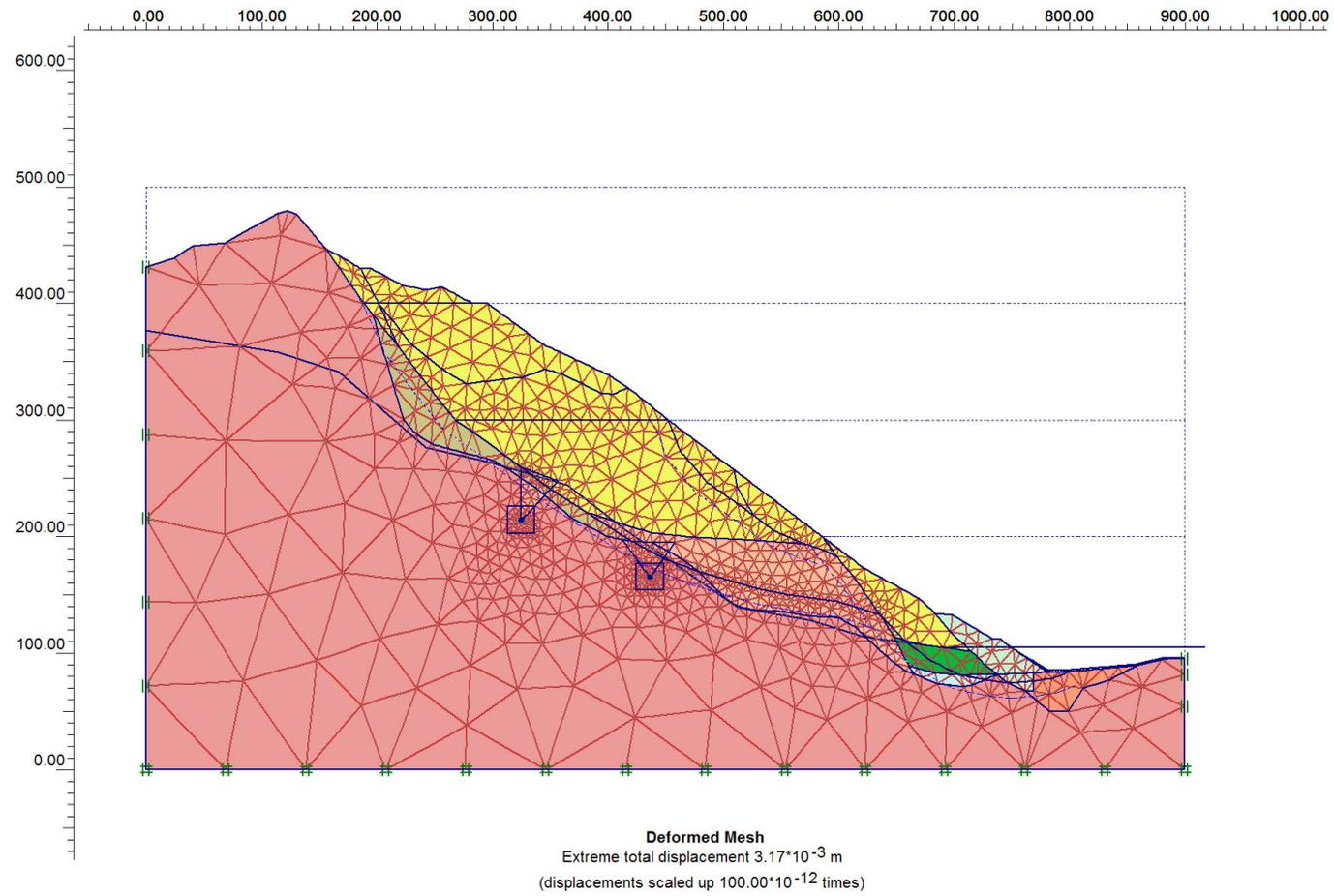


Figura 3.11. Sección B Obsérvese la ubicación de las galerías de drenaje proyectadas.

- **Sección D:** Esta sección se ubica en la parte central, hacia el lado oeste del Derrumbe 5, donde se ha observado mayor acumulación de agua. Alrededor de las galerías proyectadas se definió una zona de influencia de 22 m x 22 m, con el refinamiento adicional de la malla (véase la Figura 3.12).

En la Tabla 3.16, se describe el desarrollo del planteamiento del modelo geotécnico numérico, que implica:

- Evaluar las condiciones de estabilidad actual, al inicio de las obras proyectadas.
- Evaluar el efecto que tiene la excavación de las nuevas galerías sobre la estabilidad actual del Derrumbe 5.
- Evaluar las nuevas condiciones de estabilidad cuando se ha producido el abatimiento del nivel freático por debajo de las superficies de deslizamiento.
- Adicionalmente, se examina el estado de tensiones y deformaciones alrededor de la excavación de las galerías. Sin embargo, este tema se trata con mayor detalle en la sección correspondiente acerca del diseño del sostenimiento.

Para el desarrollo del modelo, se desarrolló la metodología siguiente:

- Selección de las secciones geológicas para los análisis. En estas secciones se introdujeron las superficies de deslizamiento identificadas con los inclinómetros y la superficie de nivel freático actual identificada, además de la información de los piezómetros.

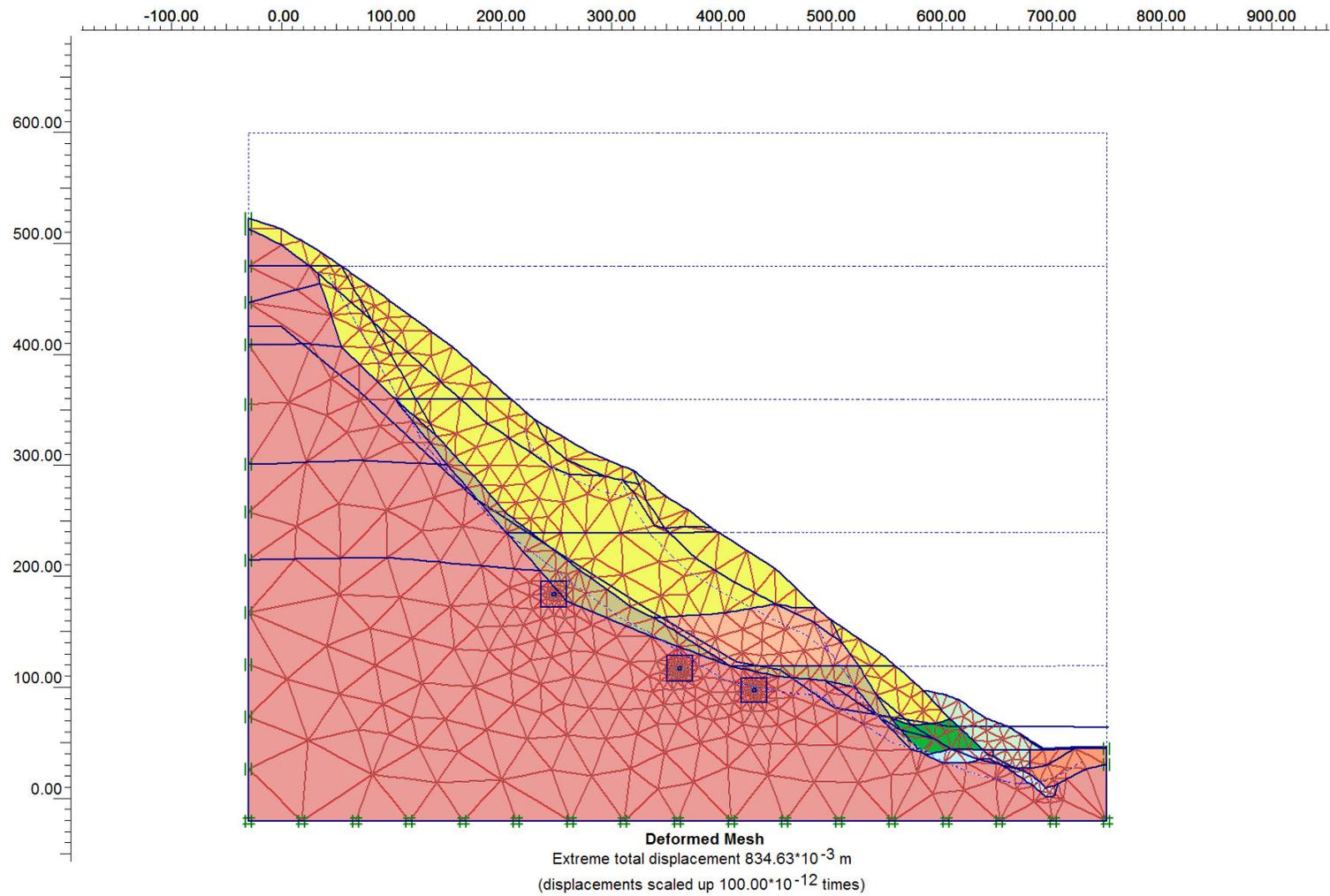


Figura 3.12. Sección D Obsérvese la mayor acumulación de agua.

Tabla 3.16. Parámetros del modelo Mohr-Coulomb.

Símbolo	Descripción	Unidad
γ_{dry}	Peso específico seco.	kN/m ³
γ_{wet}	Peso específico saturado.	kN/m ³
k_x	Permeabilidad horizontal (valor principal del tensor).	m/día
k_y	Permeabilidad vertical (valor principal del tensor).	m/día
E	Módulo de Young.	kN/m ²
ν	Módulo de Poisson.	-
C	Cohesión.	kN/m ²
ϕ	Angulo de rozamiento interno.	°
ψ	Angulo de dilatación.	°

Fuente: CESEL (2011).

- Calibración de los parámetros del modelo tomando como referencia el periodo de mayores movimientos (en 1982) y ajustando los parámetros hasta obtener un factor de seguridad cercano a la unidad.
- Se incorporan las etapas de cálculo correspondientes a los distintos eventos ocurridos en el Derrumbe 5, como: construcción de contrafuertes, anclajes, galerías, etc.

3.6.2. Propiedades de los materiales

En esta sección, se describen los diferentes materiales identificados en las masas geológicas, y se indican los valores elegidos para los parámetros del modelo Mohr-Coulomb de dichos materiales. Los valores indicados corresponden a los establecidos en el Estudio de Factibilidad, salvo en el caso del material del Derrumbe 5 y de brecha, donde la calibración del modelo ha requerido que se modifiquen algunos parámetros, como se indica más adelante.

- a. Relleno de contrafuerte:** Formado principalmente por gravas y cantos de tamaño entre 1 ½" y 6" y por arenas con porcentaje de finos menor de 5%. Se consideran adecuados los valores de parámetros adoptados en estudios anteriores.

$$\gamma_{seco}=18,6 \text{ kN/m}^3, \gamma_{sat}=21,6 \text{ kN/m}^3, \phi'=42^\circ, c'=0 \text{ kPa}, k_x=k_y=1 \text{ cm/s.}$$

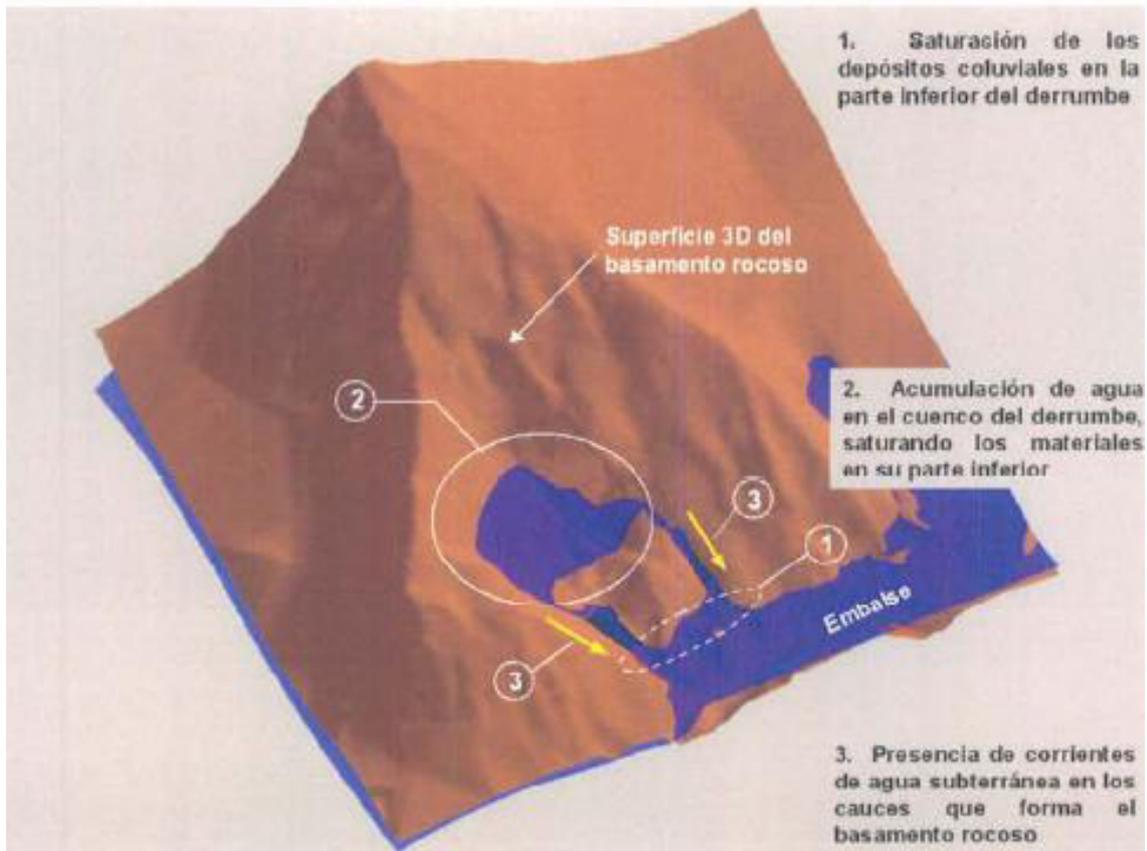


Figura 3.13. Cuenco de acumulación de agua subterránea.

b. Sedimentos del embalse: Constituidos predominantemente por suelos arenosos y lentes arcillosos. Los sedimentos bajo el contrafuerte han sido tratados con columnas de grava.

La caracterización geotécnica adoptada en estudios anteriores se considera apropiada para estos materiales. En el caso de sedimentos arenosos, los parámetros son los siguientes:

$$\gamma_{\text{sat}}=18,6 \text{ kN/m}^3, \phi'=32^\circ, c'=0 \text{ kPa}, k_x=k_y=2,15\text{E-}3 \text{ cm/s.}$$

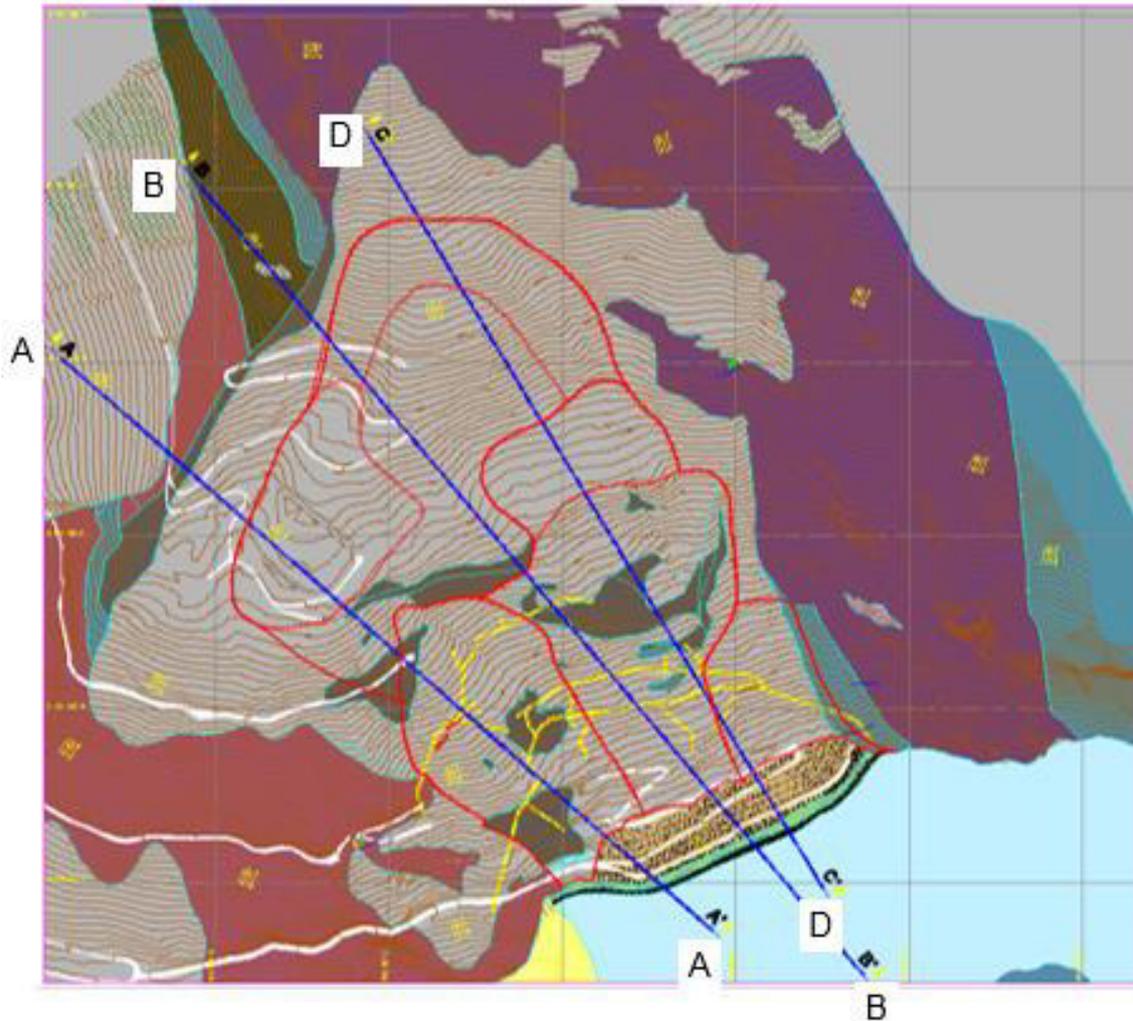


Figura 3.14. Vista de ubicación de las secciones interpretadas.

c. Depósitos aluviales: Se localizan bajo los sedimentos del embalse, con una potencia variable entre 8 m y 14 m. Está constituido por cantos y gravas con matriz fina. Los parámetros adoptados para estos materiales son los siguientes:

$$\gamma_{\text{sat}}=20,0 \text{ kN/m}^3, \phi'=40^\circ, c'=0 \text{ kPa}, k_x=k_y =1,34\text{E-}2 \text{ cm/s.}$$

d. Material de derrumbe: Constituido por los depósitos coluviales recientes y antiguos (paleoderrumbe). Los materiales que lo conforman son

fragmentos sueltos de grava gruesa y suelta en matriz limo-arcillo-arenosa, y bloques de esquistos muy fracturados a triturados, con finos limo-arcillo-gravosos o matriz escasa.

Los pesos unitarios seco y saturado se estimaron de acuerdo con la composición de los materiales. Los parámetros resistentes se determinaron mediante retroanálisis usando el método de los elementos finitos.

$\gamma_{\text{seco}}=20,0 \text{ kN/m}^3$, $\gamma_{\text{sat}}=22.0 \text{ kN/m}^3$, $\phi'=42^\circ$, $c'=20 \text{ kPa}$, $k_x=k_y=2,0\text{E}-2 \text{ cm/s}$.

e. Zona de brecha: Constituida por fragmentos angulosos de grava fina de cuarcita y pizarra, cuarzo y esquistos en matriz areno-limosa y areno-arcillosa. La milonita de falla está formada principalmente por arenas arcillosas y arcillas de baja plasticidad, muy compactas y con humedad media.

Este material ha sido estudiado con gran cantidad de ensayos de laboratorio, estableciéndose como parámetros resistentes drenados valores de $\phi'=27.5^\circ$ y $c'=0 \text{ kPa}$. La resistencia no drenada se estableció en 206 kPa .

Por retroanálisis, se estableció que el ángulo de fricción del material de brecha necesario para mantener la estabilidad del deslizamiento debe ser de 36° .

En el modelo la resistencia del material de brecha se introduce en los elementos juntos.

Asimismo, se estableció un material adicional que corresponde a las características de basamento degradado por el deslizamiento, para las zonas definidas como brecha.

f. Pizarra fracturada: Formada por bloques de pizarra meteorizada y fracturada, en matriz de arcilla negra.

Los parámetros de resistencia se establecieron mediante retroanálisis, adoptándose los siguientes valores:

$$\gamma_{\text{seco}}=21,6 \text{ kN/m}^3, \gamma_{\text{sat}}=23,2 \text{ kN/m}^3, \phi'=45^\circ, c'=250 \text{ kPa}, k_x=k_y =1,0\text{E-}2 \text{ cm/s}.$$

g. Basamento rocoso: Constituido por esquistos, pizarra y cuarcitas, que se encuentran por debajo de la zona de brecha y de la pizarra fracturada. Este material se considera que tiene una elevada rigidez, pues las prospecciones geofísicas indican valores de velocidades de onda de casi $V_p = 1000 \text{ m/s}$ (Polytechna, Stavebni Geologie & Geotest, 1979). Las propiedades del basamento se han adoptado de acuerdo con la evaluación geomecánica realizada y a los ensayos realizados en roca filita.

En la Tabla 3.17, se muestra un resumen de los parámetros adoptados en el modelo numérico. Los parámetros elásticos para la pizarra y basamento son considerados de acuerdo a la calidad media-baja del macizo rocoso ($10 < \text{RMR} < 50$).

Tabla 3.17. Valores de los parámetros del modelo Mohr-Coulomb.

Símbolo	Aluvial	Contra-fuerte	Derrumbe	Pizarra	Sedimentos	Basamentos	Bas. triturado	Unidad
γ_{dry}	17	18.6	20	21.6	18.6	21	21	kN/m ³
γ_{wet}	20	21.6	22	23.2	18.6	23.2	23.2	kN/m ³
k_x	11.58	864	17,28	8.64	1.86	1×10^{-5}	1×10^{-5}	m/día
k_y	11.58	864	17,28	8.64	1.86	1×10^{-5}	1×10^{-5}	m/día
E	8×10^5	4×10^5	1×10^6	2.5×10^6	3.5×10^5	3.6×10^6	1.8×10^6	kN/m ²
ν	0.3	0.3	0.25	0.20	0.33	0.15	0.15	-
C	1	1	20	250	1	1000	100	kN/m ²
ϕ	40	42	42	45	32	45	45	°
ψ	0	0	0	0	0	0	0	°

Fuente: CESEL (2011).

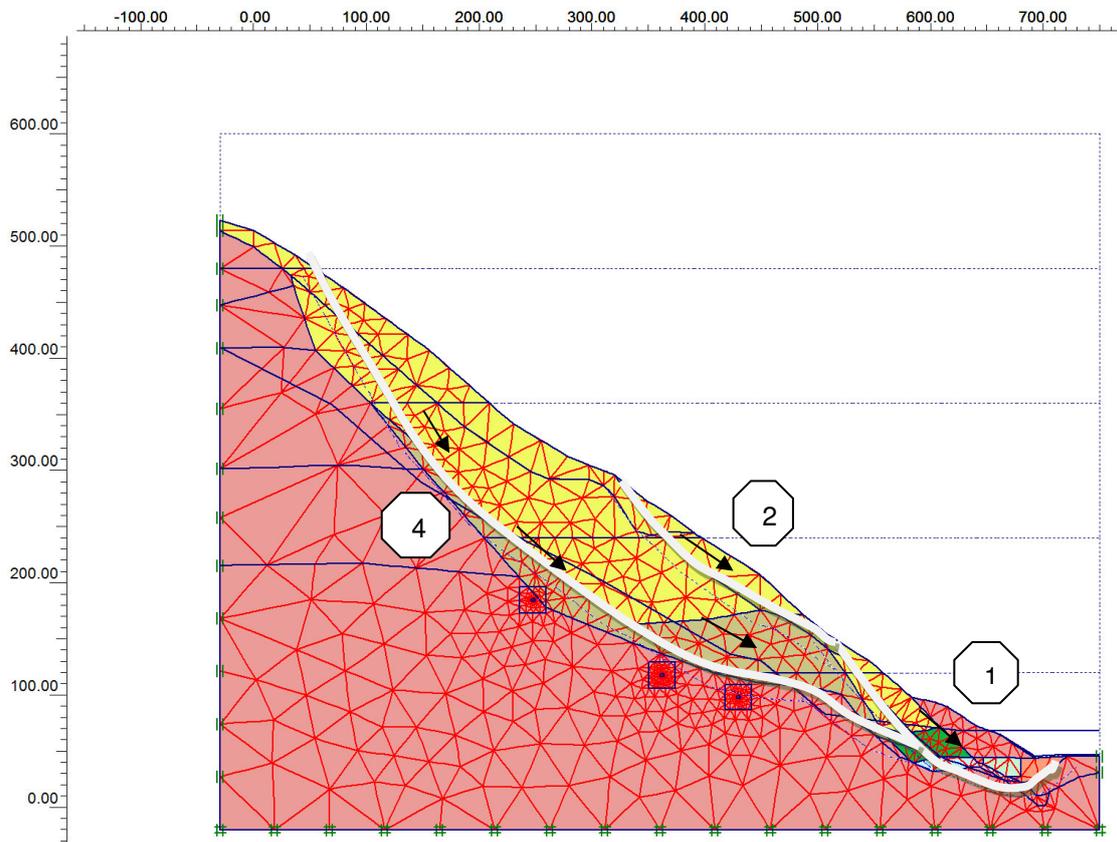


Figura 3.15. Interpretación de superficies de deslizamiento.

La masa 1, se mueve inicialmente como producto de la saturación de su base durante el llenado del embalse. La saturación y el incremento en las presiones de poros, produce una reducción de las tensiones efectivas en el área saturada y, por consiguiente, a la disminución de la resistencia al corte de esta zona. Eso, llevando a esta masa al estado de colapso inminente, reflejado en los movimientos observados durante los primeros años de operaciones de la presa, y amplificados durante los periodos de lluvias extremas de 1982.

Los movimientos de la masa 1 desestabilizaron la zona adyacente inmediatamente por encima de esta, denominada masa 2. En las secciones

donde no se encuentra el paquete de rocas intermedio, la masa 1 y la masa 2 se convierten en una única masa a mayor profundidad (masa 3). Finalmente, este conjunto de movimientos reactiva el paleoderrumbe profundo, que ha sido detectado en la instrumentación (masa 4). Esta información puede observarse en la Figura 3.16.

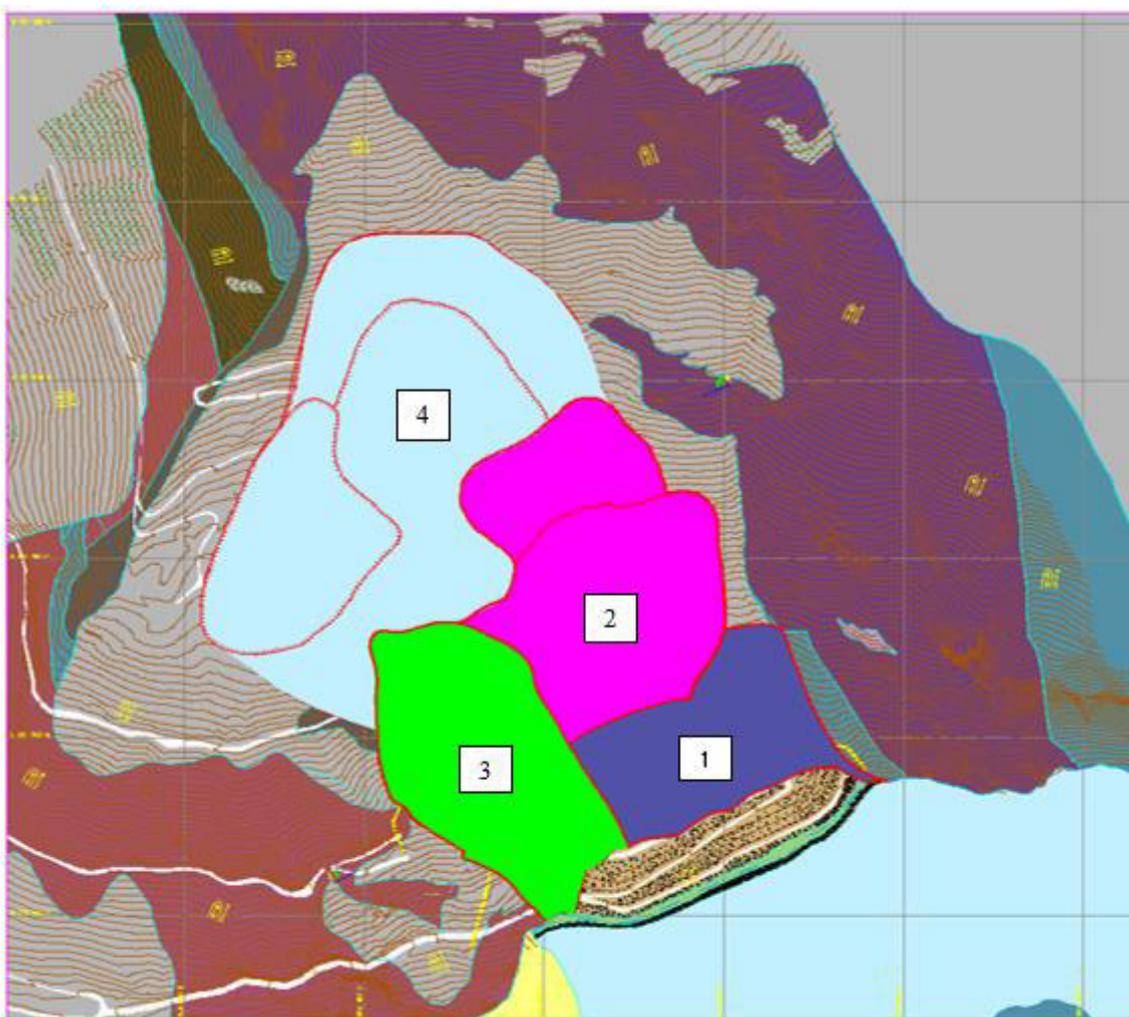


Figura 3.16. Vista en planta de las masas de los principales deslizamientos.

Los factores de seguridad estimados se muestran en la Tabla 3.18. Obsérvese la reducción progresiva del factor de seguridad desde la construcción de la represa hasta la situación crítica en 1982, cuando se produjo un periodo de lluvias extraordinarias. Igualmente, se observa cómo

la construcción de las obras mejoró la estabilidad del Derrumbe 5; y cómo el abatimiento del nivel freático mediante las galerías de drenaje proyectadas permitirá mejorar las condiciones de estabilidad actuales. Evidentemente, esta mejora será mayor en aquellas zonas donde actualmente se acumula mayor cantidad de agua, como reflejan los resultados de las secciones B y D.

Tabla 3.18. Resultados de los análisis de estabilidad.

Fase	Sección		
	A-A	B-B	D-D
1972 situación con embalse vacío.	1.09	1.22	1.16
1972 situación con embalse lleno.	1.06	1.18	1.13
1982 situación con embalse lleno y lluvias extremas.	1.05	1.12	1.09
1984 construcción de obras de estabilización.	1.19	1.25	1.16
2009 situación actual.	1.20	1.27	1.16
Construcción de nuevas galerías.	-	1.25	1.15
Abatimiento del nivel freático.	-	1.28	1.20

La Figura 3.17 muestra la superficie de deslizamiento obtenida en dos etapas de cálculo distintas de la sección A. Estas superficies se han representado mediante el contorno de deslizamientos, calculado en la fase de reducción de parámetros de resistencia.

Se observa con claridad cómo el mecanismo de deslizamiento antes de las obras de estabilización, debieron afectar en gran profundidad las laderas, inducido por la saturación de la zona durante el llenado del embalse y lluvias extremas, produciendo la reactivación del paleoderrumbe.

Estos movimientos se llamaron masas de deslizamiento 3 y 4. Los cálculos también muestran cómo el mecanismo del deslizamiento cambió cuando se construyeron las obras de estabilización, limitándose casi a

movimientos en la parte superior, que demuestra la efectividad de dichas obras.

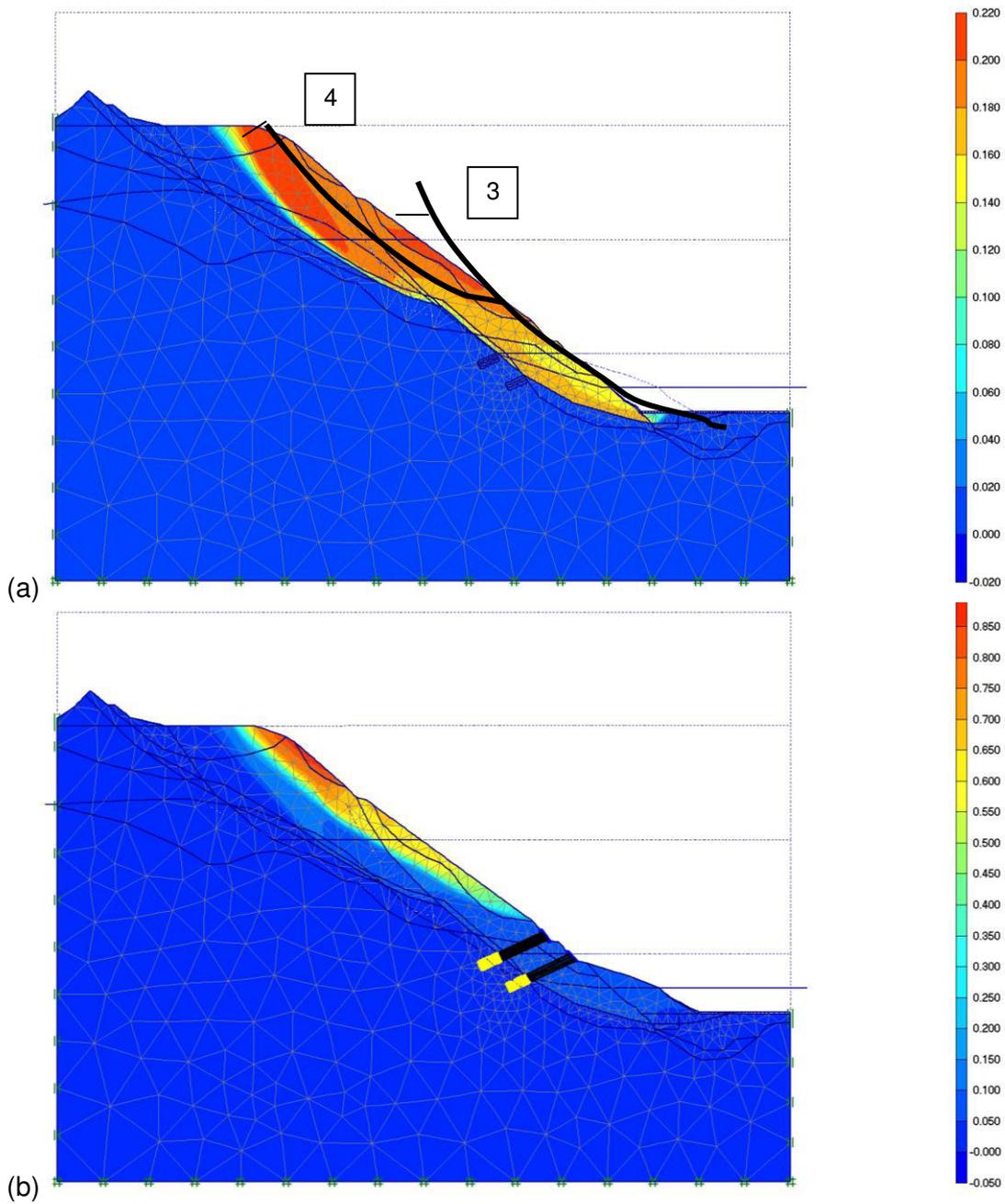


Figura 3.17. Sección A de superficies de deslizamiento: (a) durante lluvias extremas en 1982, y (b) después de las obras de estabilización en 1984.

Por otra parte, si se examinan las superficies de deslizamiento obtenidas en la sección D, se comprueba el mismo patrón de comportamiento. Sin embargo, en esta zona se aprecia el efecto que tiene el paquete de rocas depositadas en forma de una aparente cubeta en la parte central de la sección. Este paquete tiene el efecto de un dique estabilizador, limitando los movimientos iniciales ocurridos durante el llenado del embalse en la parte inferior de la ladera (denominado masa 1).

Como se ha indicado antes, estos movimientos iniciales desestabilizan la zona inmediatamente superior (denominada masa 2) y producen movimientos en la masa profunda (masa 4). Por otro parte, la cubeta también tiene el efecto negativo de permitir la acumulación de agua, lo cual degrada las rocas de tipo pizarras y filitas de la zona, y probablemente sea la causa de los movimientos continuos observados a profundidad, en los inclinómetros.

Los resultados de los análisis muestran cómo desde la construcción de la represa Tablachaca las condiciones de estabilidad se fueron degradando hasta alcanzar un punto crítico en 1982, durante un periodo intenso de lluvias. La construcción de las obras de estabilización (contrafuertes, anclajes, galerías de drenaje) permitió mejorar en gran medida las precarias condiciones de estabilidad existentes en aquel momento. Las nuevas galerías de drenaje a construirse permitirán mejorar la estabilidad del Derrumbe 5 en aquellas zonas donde existe acumulación de agua. Esto se entiende por dos razones: primero, porque la reducción de las presiones intersticiales incrementa las tensiones efectivas, con lo cual los materiales adquieren mayor capacidad de resistencia; y segundo, porque los geomateriales, especialmente aquellos que contienen minerales arcillosos, mejoran fuertemente su resistencia en la medida que pasan del estado de saturación al estado seco.

Por ello, se requieren mayores investigaciones con el fin de valorar este último fenómeno, que no ha sido considerado en los análisis. Sin embargo, se presume que incrementarían los factores de seguridad calculados.

Finalmente, los cálculos también demuestran que el proceso de excavación de las galerías no tendría mayor efecto sobre la estabilidad actual del Derrumbe 5, al menos dentro de las hipótesis consideradas en el modelo. No obstante, no se descarta la posibilidad de desprendimientos locales en la bóveda de las galerías durante su construcción. Los cálculos indican que es necesario emplear algún tipo de sostenimiento –como ‘shotcrete’ (hormigón proyectado) y pernos de anclajes–, especialmente en aquellas zonas donde las rocas se clasifican como del tipo V.

Es muy importante que durante la construcción de las galerías se establezca un control de la instrumentación geotécnica. Además, sería conveniente que la instrumentación disponible actual se complemente con la instalación de piezómetros de tubo abierto e inclinómetros en las zonas próximas a los nichos, en la intersección de galerías, en piques y en los empalmes de las galerías existentes.

Asimismo, se deben reemplazar aquellos inclinómetros que han sido cizallados por el deslizamiento o han quedado cortos en profundidad, entre ellos los H-28, H-63, H-62, H-30 y H-71 (estos instrumentos permiten el seguimiento del deslizamiento profundo).

3.7. Características Geomecánicas de Nichos y Galerías

Se describen aquellos aspectos de ingeniería geológica y geotécnica que tienen relevancia para el diseño del sostenimiento de galerías y nichos. Incluye también, sobre todo, la caracterización del modelo geomecánico y su relación

con el índice de calidad de la roca, que influye en forma directa en la conductividad hidráulica, y cuyos siguientes aspectos son:

- Evaluación geomecánica del macizo rocoso.
- Interpretación de resultados del análisis de estabilidad debido a esfuerzos y bloques inestables.

Para el diseño del sostenimiento se usan parámetros proyectados desde la superficie y las galerías existentes, así como datos recopilados de los estudios anteriores. Esto exige el uso de parámetros de entrada que sean consistentes con la interpretación geológica.

3.7.1. Evaluación geomecánica

En el área del Derrumbe 5, se ubicaron tres estaciones geomecánicas para conocer la calidad del macizo rocoso en el sector de emplazamiento de las galerías de drenaje proyectadas (superior y medio). Por medio de la clasificación geomecánica se llega a describir en forma numérica la calidad de la roca. Esta es una herramienta muy útil en el diseño y construcción de obras subterráneas.

Para este estudio se aplicó la valoración geomecánica de masas rocosas bajo el Sistema RMR de Bieniawski (1989) y el Índice Q (Barton, 1974). Se tomaron muestras de roca, las cuales fueron identificadas y enviadas al laboratorio geotécnico, para realizar los respectivos ensayos. La ubicación de las estaciones geomecánicas se muestran en la Tabla 3.19.

3.7.2. Clasificación geomecánica del macizo

Existen varios métodos y ensayos para caracterizar los macizos rocosos con fines de excavaciones subterráneas, basados en la evaluación de sus características y comportamiento, como las discontinuidades.

Tabla 3.19. Resumen de estaciones geomecánicas.

Ubicación	Estación Geomecánica	Tipo de Roca	Prof. (M)	Ensayos Realizados *
Zona superior de la galería 250	EG-1	Pizarra carbonosa	Superficial	CP, PF
Zona media de la ladera	EG-2	Filita	Superficial	CP, PF
Zona inferior de la ladera	EG-3	Pizarra Carbonosa	Superficial	CP, PF

(*) CP: Carga puntual; PF: Propiedades físicas.

Fuente: CESEL (2011).

Con el fin de clasificar y evaluar el comportamiento del macizo rocoso presente en el Derrumbe 5, se realizaron los siguientes métodos empíricos.

a. Clasificación geomecánica de Bieniawski (RMR): El sistema de clasificación Rock Mass Rating (o RMR) fue desarrollado por Z. T. Bieniawski en 1973, y posteriormente mejorado por el mismo autor en 1979, cuyo modelo de clasificación se basa en más de 300 casos reales de túneles, cavernas y cimentaciones. Para este estudio se usó la edición de 1989, que coincide sustancialmente con la de 1979. El valor del RMR describe de modo numérico la calidad de la roca sobre la base de los parámetros en los que se encuentra el macizo rocoso in situ. El resultado de la clasificación RMR, se muestra en la Tabla 3.20.

Tabla 3.20. Valoración geomecánica de Bieniawski (RMR).

Ubicación	Estación Geomecánica	Tipo de Roca	Valoración de la Masa Rocosa	
			RMR	RMR _{89'}
Zona superior de la galería 250.	EG-1	Pizarra carbonosa	45	55
Zona media de la ladera.	EG-2	Filita	30	40
Zona inferior de la ladera.	EG-3	Pizarra carbonosa	20	33

Fuente: Adaptado de Bieniawski (1989).

Según la clasificación de Bieniawski (1989), las rocas que corresponden a la pizarra carbonosa corresponden a los tipos III al V; y la filita, al Tipo IV.

b. Clasificación geomecánica de Barton (índice Q): El sistema Q propuesto por Barton (1974) considera los índices de calidad del macizo rocoso como: RQD (Rock Quality Designation), índice de influencia del número de familias de las discontinuidades, J_n ; índice de influencia de la rugosidad de las paredes de las discontinuidades, J_r ; índice de influencia de la alteración de las paredes de las discontinuidades, J_a ; índice de influencia de la acción del agua subterránea, J_w ; e índice de influencia del estado de tensiones del macizo en el contorno de la cavidad, SRF (Stress Reduction Factor).

A partir de los datos anteriormente mencionados, el valor del Índice Q tiene la siguiente expresión:

$$Q = \frac{RQD}{J_n} \times \frac{J_r}{J_a} \times \frac{J_w}{SRF} \quad (2.57)$$

El valor numérico de Q varía de 0.001 a 1000. Este índice considera tres características principales del macizo rocoso:

- El tamaño de los bloques (RQD/ J_n).
- Resistencia al corte entre bloques (J_r / J_a).
- Acción de la tensión (J_w / SRF).

Este método fue desarrollado sobre la base de un gran número de casos de excavaciones subterráneas; y fue modificado posteriormente para tener en cuenta las características mecánicas propias de los bloques, considerando para el índice de influencia la acción del agua subterránea J_w ; y el índice de influencia del estado de esfuerzos en el macizo en el contorno de la cavidad, SRF, con un valor de 1 para ambos, equivalente a un macizo rocoso seco sometido a condiciones de esfuerzo medio.

El sistema modificado Q' se da según la siguiente expresión:

$$Q' = \frac{RQD}{J_n} \times \frac{J_r}{J_a} \quad (2.58)$$

A continuación, se presentan las tablas que muestran el resultado de la clasificación geomecánica de Barton (Índice Q). Estos resultados muestran que la roca pizarra carbonosa corresponde a rocas a los tipos III al V, calificándose como una roca de calidad regular a una muy mala. A la filita, le corresponde el Tipo IV; es decir, es una roca de mala calidad. En la Tabla 3.21, se muestran los parámetros usados y los resultados de la clasificación según el Índice Q.

Tabla 3.21. Detalle de la clasificación del sistema Q.

Ubicación	Est. Geo	Valor % RQD	Valor JN	Valor JR	Valor JA	Valor JW	Valor SRF	Valoración de la Masa	
								Q	Q'
Zona superior de la galería 250	EG-1	50	9	1.5	0.75	1	2.5	4.44	11.11
Zona media de la ladera	EG-2	35	9	0.75	1	1	2.5	1.16	2.917
Zona inferior de la ladera	EG-3	10	9	0.75	1	1	1	0.83	0.833

Fuente: Adaptado de Barton (1973).

3.7.3. Calidad del macizo rocoso

A partir de la evaluación geomecánica, ensayos de laboratorio y clasificación del macizo rocoso, se estableció la calidad del macizo rocoso (véase la Tabla 3.22).

Tabla 3.22. Resumen de la calidad del macizo rocoso.

Clasificación de Bieniawski		Clasificación de Barton Índice Q		Calidad del Macizo Rocosó
RMR	Clase	Q	Clase	
55	Tipo III	4.44	C	Media
40	Tipo IV	1.16	D	Mala
33	Tipo V	0.83	E	Muy mala

Zonificación geológica-geomecánica de las galerías proyectadas.

Fuente: CESEL (2011).

Sobre la base de la evaluación geológica, geomecánica y geotécnica, se zonificaron las secciones longitudinales de las galerías proyectadas en tres clases de roca.

a. Galería 250 A:

- **Tramo A-B:** La galería atraviesa la roca metamórfica llamada pizarra carbonosa del Grupo Excélsior, que se encuentra muy foliada, ligeramente fracturada y muy alterada por la presencia de sales. La caracterización corresponde a los tipos III, IV y V, presentándose en porcentajes variados de 60%, 30% y 10%, respectivamente (véanse los planos RMG-HG-001 al RMG-HG-006 del Anexo 6 de esta presente tesis).
- **Tramo B-C:** La galería atraviesa la roca metamórfica de pizarra carbonosa del Grupo Excélsior, la cual se encuentra foliada, muy fracturada, y de color gris oscuro. La caracterización geológica-geomecánica corresponde a los tipos III, IV y V presentando porcentajes de: 60%, 30% y 10% (véanse los planos RMG-HG-001 al RMG-HG-006 del Anexo 6).
- **Tramo C-D:** La galería atraviesa la referida roca metamórfica de pizarra carbonosa del Grupo Excélsior, foliada, ligeramente fracturada, ligeramente alterada, de color gris oscuro. En este tramo la caracterización geológica-geomecánica califica la roca como de Tipo III en el 100% del tramo (véanse los planos RMG-HG-001 al RMG-HG-006 del Anexo 6, de la presente tesis).
- **Tramo D-E:** La galería atraviesa la roca metamórfica de pizarra carbonosa del Grupo Excélsior, se encuentra foliada, ligeramente fracturada y es de color gris oscuro. El sector presenta buenas condiciones de sostenimiento. La caracterización geológica-

geomecánica es: Tipo III en la mayor parte del tramo, en un 70%; y los tipos IV y V en menor proporción, con 25% y 5%, respectivamente (véanse los planos RMG-HG-001 al RMG-HG-006 del Anexo 6 de la presente tesis).

- **Pique B-K:** La galería atraviesa la roca metamórfica de pizarra carbonosa del Grupo Excélsior, que en este tramo se encuentra foliada, ligeramente fracturada y es de color gris oscuro. La caracterización geológica-geomecánica califica la roca como de Tipo III (véanse los planos RMG-HG-001 al RMG-HG-006 del Anexo 6, de la presente tesis).

b. Galería 200 A:

- **Tramo H-I:** La galería atraviesa la roca ya descrita del Grupo Excélsior. Su caracterización corresponde aquí a los tipos III, IV y V con porcentajes de 60%, 30% y 10%, respectivamente (véanse los planos RMG-HG-001 al RMG-HG-006 del Anexo 6, de la presente tesis).
- **Tramo I-J:** En este tramo, la galería atraviesa también la pizarra del Grupo Excélsior. Su caracterización geológica-geomecánica es roca de Tipo III (véanse los planos RMG-HG-001 al RMG-HG-006 del Anexo 6, de la presente tesis).
- **Tramo J-K:** También en este tramo la galería atraviesa la pizarra carbonosa perteneciente al Grupo Excélsior. La caracterización geológica-geomecánica califica al macizo como de Tipo III con un porcentaje de 75%; y de tipos IV y V, en 20% y 5%, respectivamente (véanse los planos RMG-HG-001 al RMG-HG-006 del Anexo 6, de la presente tesis).

- **Tramo F-G:** La galería atraviesa la misma roca ya descrita. Este tramo está integrado en un 60% por rocas de Tipo IV; y de tipos III y V, con 30% y 10%, respectivamente (véanse los planos RMG-HG-001 al RMG-HG-006 del Anexo 6).
- **Pique G-G:** El pique igualmente atraviesa la pizarra carbonosa. Su caracterización corresponde a los tipos IV y V (véanse los planos RMG-HG-001 al RMG-HG-006 del Anexo 6, de la presente tesis).

Por otro lado, los parámetros de resistencia del macizo rocoso se han estimado en función de la resistencia de la compresión simple de la roca intacta.

En las tablas 3.23 y 3.24, y en las figuras 3.18 y 3.19, se presenta el resumen de los parámetros utilizados en cada uno de los nichos, y en los distintos tramos de galerías.

3.8. Ensayos de Laboratorio

Las muestras obtenidas de los sondeos directos fueron seleccionadas, preparadas y ensayadas en el laboratorio de mecánica de suelos y rocas (granulometrías, límites de consistencia, contenido de humedad). Estos ensayos se realizaron en el Laboratorio Geotécnico y de Concreto de CESEL S.A.

3.8.1. Ensayos de carga puntual

Calcula la resistencia a la compresión simple de la muestra de roca intacta. El ensayo fue realizado en el laboratorio de CESEL S.A., según lo indicado por la norma ASTM D-5731. Este ensayo consiste en comprimir la muestra de roca entre dos puntos situados en generatrices opuestas, logrando así la deformación y falla de la roca (véase la Tabla 3.25).

Tabla 3.23. Resumen de parámetros de la roca en nichos.

Nichos	Roca	Calidad de la roca	Prof. de los Nichos (m)	E_m (MPa)	Parámetros Hoek & Brown Generalizado			Parámetros de Mohr-Coulomb	
					m_b	s	a	c_m (KPa)	ϕ_m (°)
A	Pizarra	Tipo III	142	3818	0,832	0,0013	0,506	11,1	49,1
	Filita	Tipo		1423	0,453	0,0002	0,516	4,7	39,5
	Pizarra	Tipo V		906	0,292	0,0001	0,526	3,5	32,9
B	Pizarra Carbonosa	Tipo III	146,5	3818	0,832	0,0013	0,506	11,2	48,9
	Filita	Tipo		1423	0,453	0,0002	0,516	4,8	39,3
	Pizarra Carbonosa	Tipo V		906	0,292	0,0001	0,526	3,6	32,6
C	Pizarra Carbonosa	Tipo III	161,8	3818	0,832	0,0013	0,506	11,7	48,3
	Filita	Tipo		1423	0,453	0,0002	0,516	5,1	38,5
	Pizarra Carbonosa	Tipo V		906	0,292	0,0001	0,526	3,8	31,9
D	Pizarra Carbonosa	Tipo III	144,8	3818	0,832	0,0013	0,506	11,2	49,0
	Filita	Tipo IV		1423	0,453	0,0002	0,516	4,7	39,3
	Pizarra Carbonosa	Tipo V		906	0,292	0,0001	0,526	3,5	32,7
E	Pizarra Carbonosa	Tipo III	145,8	3818	0,832	0,0013	0,506	11,2	49,0
	Filita	Tipo		1423	0,453	0,0002	0,516	4,7	39,3
	Pizarra Carbonosa	Tipo V		906	0,292	0,0001	0,526	3,6	32,7
F	Pizarra Carbonosa	Tipo III	142,7	3818	0,832	0,0013	0,506	11,1	49,1
	Filita	Tipo		1423	0,453	0,0002	0,516	4,7	39,5
	Pizarra Carbonosa	Tipo V		906	0,292	0,0001	0,526	3,5	32,8

Fuente: CESEL (2011).

A partir de los resultados, se define a la roca en términos de su resistencia a la compresión simple como de media a baja, según Bieniawski (1973).

3.8.2. Ensayo de propiedades físicas de la roca

Con las muestras de roca obtenidas de las estaciones geomecánicas, se realizaron los ensayos para determinar sus propiedades físicas: gravedad específica, porosidad, absorción (ASTM C-9783) y densidad (ASTM D-2937). En

la Tabla 3.26, se presenta el resultado obtenido en el laboratorio.

Tabla 3.24. Resumen de parámetros de la roca en galerías.

Galería	Roca	Calidad de la roca	Prof. galería (m)	E_m (MPa)	Parámetros Hoek & Brown Generalizado			Parámetros de Mohr-Coulomb	
					m_b	s	a	c_m (KPa)	ϕ m (°)
A-B	Pizarra Carbonosa	Tipo III	107,9	3818	0,832	0,0013	0,506	10,0	50,9
	Filita	Tipo IV		1423	0,453	0,0002	0,516	4,0	41,6
	Pizarra Carbonosa	Tipo V		906	0,292	0,0001	0,526	3,0	34,9
B-C	Pizarra Carbonosa	Tipo III	153,5	3818	0,832	0,0013	0,506	11,4	48,6
	Filita	Tipo IV		1423	0,453	0,0002	0,516	4,9	38,9
	Pizarra Carbonosa	Tipo V		906	0,292	0,0001	0,526	3,7	32,3
C-D	Pizarra Carbonosa	Tipo III	168,7	3818	0,832	0,0013	0,506	11,9	48,0
	Filita	Tipo IV		1423	0,453	0,0002	0,516	5,2	38,2
	Pizarra Carbonosa	Tipo V		906	0,292	0,0001	0,526	3,9	31,6
D-E	Pizarra Carbonosa	Tipo III	144,8	3818	0,832	0,0013	0,506	11,5	48,6
	Filita	Tipo IV		1423	0,453	0,0002	0,516	4,9	38,9
	Pizarra Carbonosa	Tipo V		906	0,292	0,0001	0,526	3,7	32,3
H-I	Pizarra Carbonosa	Tipo III	126,6	3818	0,832	0,0013	0,506	10,6	49,9
	Filita	Tipo IV		1423	0,453	0,0002	0,516	4,4	40,4
	Pizarra Carbonosa	Tipo V		906	0,292	0,0001	0,526	3,3	33,7
I-J	Pizarra Carbonosa	Tipo III	144,5	3818	0,832	0,0013	0,506	11,2	49,0
	Filita	Tipo IV		1423	0,453	0,0002	0,516	4,7	39,4
	Pizarra Carbonosa	Tipo V		906	0,292	0,0001	0,526	3,5	32,8
F-G	Pizarra Carbonosa	Tipo III	114,0	3818	0,832	0,0013	0,506	10,2	50,6
	Filita	Tipo IV		1423	0,453	0,0002	0,516	4,1	41,2
	Pizarra Carbonosa	Tipo V		906	0,292	0,0001	0,526	3,1	34,5
J-K	Pizarra Carbonosa	Tipo III	145,0	3818	0,832	0,0013	0,506	11,2	49,0
	Filita	Tipo IV		1423	0,453	0,0002	0,516	4,7	39,3
	Pizarra Carbonosa	Tipo V		906	0,292	0,0001	0,526	3,5	32,7

Fuente: CESEL (2011).

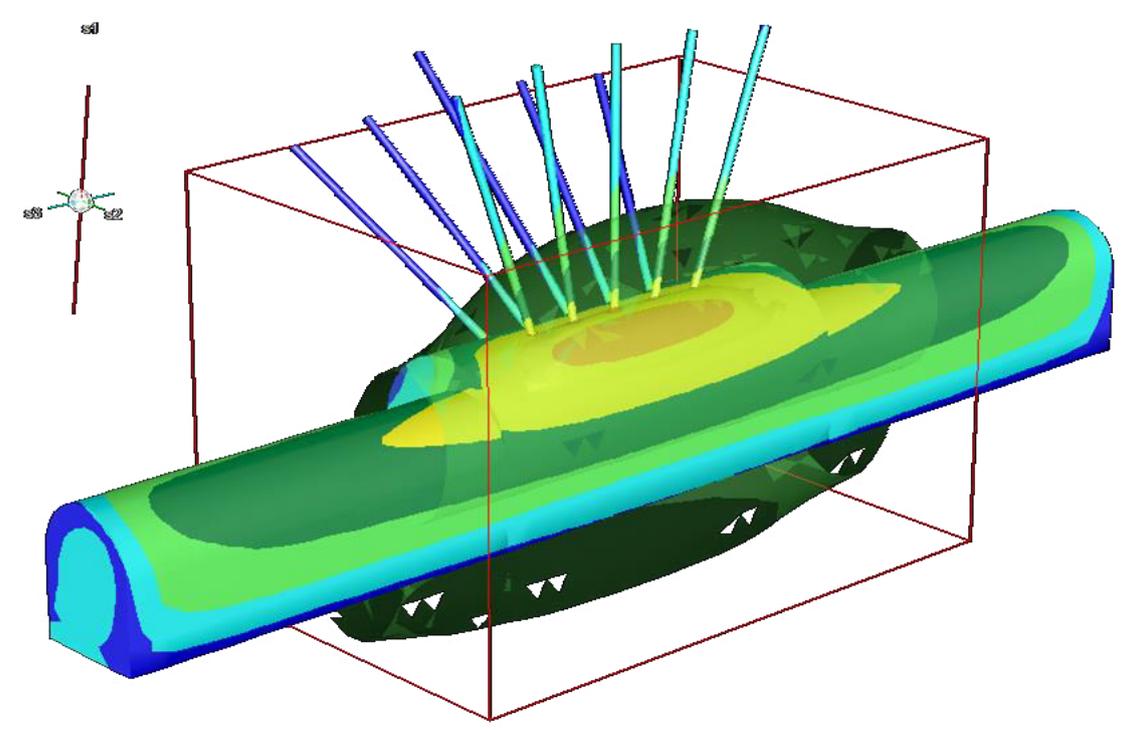


Figura 3.18. Vista del modelo 3D del nicho y galería proyectada.

3.9. Modelo Conceptual Hidrogeológico

3.9.1. Mapeo hidrogeológico

En función de la caracterización hidrogeológica de la zona del Derrumbe 5, se realizó un inventario de las fuentes de agua (cunetas y zonas de recarga y descarga), así como el mapeo hidrogeológico de las masas geológicas *in situ* (véase la Figura 3.20), en aras de estimar los parámetros de infiltración.

Para obtener argumentos sólidos en cuanto al mecanismo y/o movimiento de los frentes de flujo inmersos dentro de las masas geológicas consideradas e interpretadas con toda la información directa e indirecta revisada, se correlacionó con la investigación geotécnica para reconocer el perfil estratigráfico del Derrumbe 5, evaluar el *water table* (nivel freático) y asignar los valores de permeabilidad en función de los ensayos de Lefranc y Lugeon. Esto, con

métodos indirectos y directos, en los agregados naturales atravesados.



Figura 3.19. Vista de la construcción del nicho A, Fuente: Electroperú, (2014).

Tabla 3.25. Resultados de los ensayos.

Ubicación	Estación/ Muestra	Tipo de Roca	Resistencia a la Compresión Simple (MPA)		
			Máx.	Mín.	Prom.
Zona superior de la galería 250	EG-1	Pizarra carbonosa	263	99	167
Zona media de la ladera	EG-2	Filita	127	36	83
Zona inferior de la ladera	EG-3	Pizarra carbonosa	95	33	66

Fuente: CESEL (2011).

Este mapeo hidrogeológico tiene el exclusivo objetivo de delimitar los límites del acuífero existente, y los mecanismos de recarga que influyen directamente, que a su vez condicionan la estabilidad física del deslizamiento

Derrumbe 5.

Tabla 3.26. Resultados de los ensayos.

Ubicación	Muestra	Tipo de Roca	Absorción (%)	Gravedad Específica	Densidad (g/cm ³)
Zona superior de la galería 250	EG-1	Pizarra carbonosa	0,51	2,66	2,66
Zona media de la ladera	EG-2	Filita	3,23	2,53	2,47
Zona inferior de la ladera	EG-3	Pizarra carbonosa	1,92	2,66	2,64

Fuente: CESEL (2011).



Figura 3.20. Modelo conceptual de recarga del Derrumbe 5.

Previo a lo anterior, se propuso la construcción de galerías de drenaje profundo, para interceptar la mayor cantidad de agua en movimiento dentro del medio poroso y fracturado, con el fin de abatir los niveles de agua, sobre todo en

el sector medio del Derrumbe 5. Según el modelo geológico, este converge en las zonas cuaternario paleoderrumbe (Qp-pd) y brecha de pizarra (Qp-pd-b).

Como paso, previo se revisó toda la información existente, antes de establecer la red de drenaje mediante galerías y nichos, así como su relación con los piques 1 y 2 propuestos.

Para interferir el movimiento del flujo subterráneo y su concentración en los sumideros (drenes radiales), se propuso la aplicación del modelo FEFLOW+FMH3, tomando como base las secciones geológicas-geotécnicas e hidrogeológicas definidas, así como toda la información directa e indirecta existente.

3.9.2. Mecanismo de recarga y descarga

- a. Recarga:** En relación con la información revisada y según los datos de las estaciones hidrometeorológicas, la zona presenta un régimen hidrológico anual variable, registrando valores altos en los meses de enero, febrero y marzo; y bajos en los meses secos de junio, julio y agosto.

Este fenómeno se da en la superficie del terreno y en los estratos inferiores (suelos y/o rocas), a través de los poros o intersticios, así como por las discontinuidades de materiales (véanse las figuras 3.20, 3.21 y 3.22).

b. Descarga: El volumen de agua se filtra hasta el material del suelo coluvial (permeable), y esta a su vez percola a través del material de brecha, alcanzando el basamento rocoso (véase la Figura 3.23), donde se producen descargas bajo determinadas modalidades: en forma de afloramientos (flujo concentrado), filtraciones y descargas directas hacia el embalse de Tablachaca.

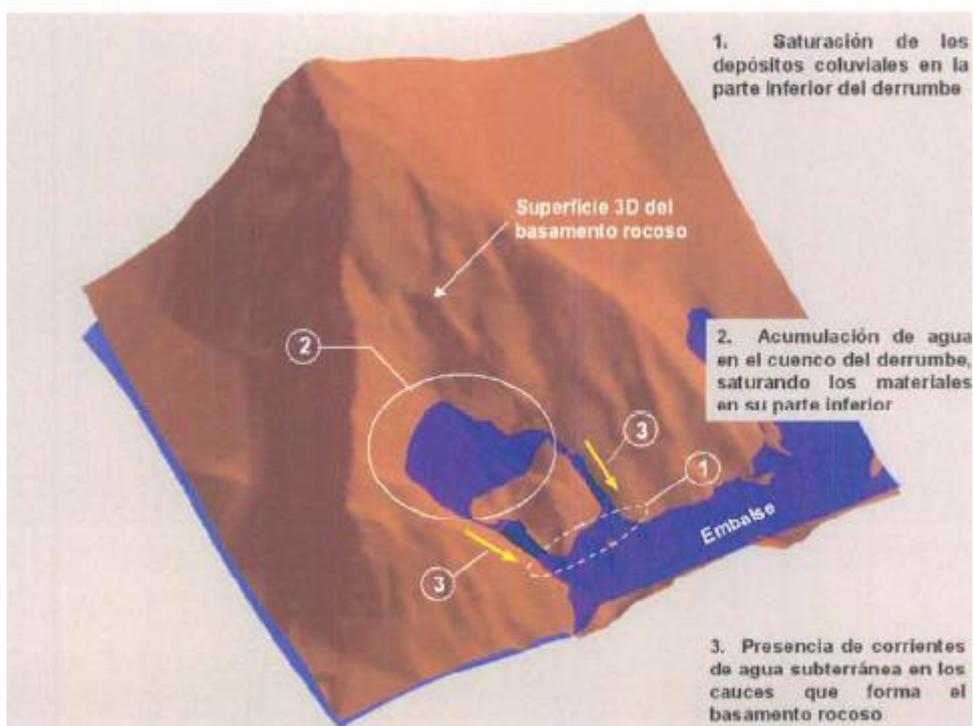


Figura 3.21. Vista 3D del agua concentrada en la superficie del basamento - límite superior del acuífero.

La descarga se produce de acuerdo con el control litológico, siguiendo los estratos más permeables a través del material coluvial; en el caso del agregado natural de las rocas, ocurre de manera similar pero estas siguen un patrón de control estructural, atribuido a las anomalías que atraviesa la geología del área.

Las descargas naturales de las aguas subterráneas se concentran al pie del deslizamiento, constituyendo pequeños cursos de agua de ladera durante todo el año (véase la Figura 3.23).

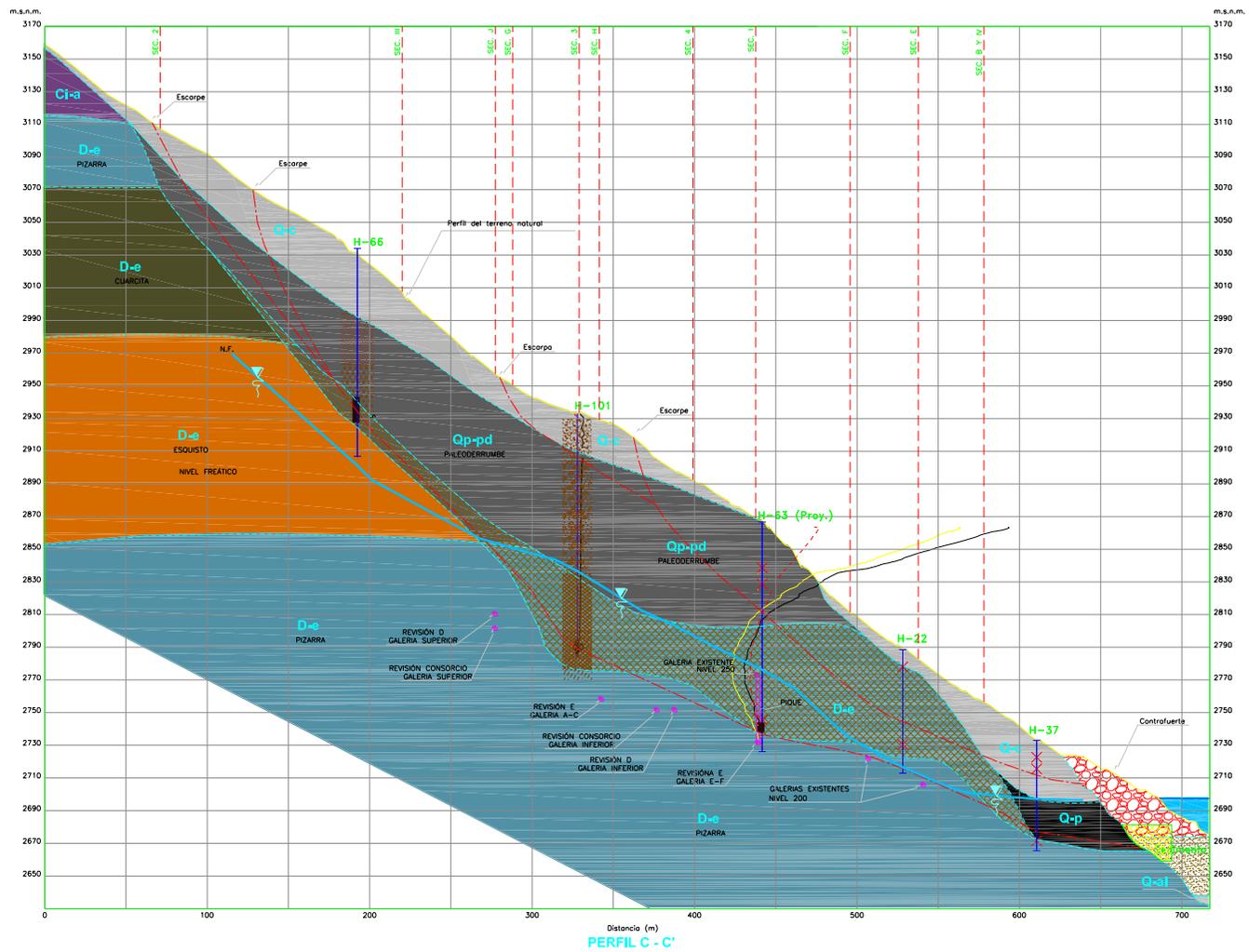


Figura 3.22. Perfil estratigráfico modelo hidrogeológico conceptual.

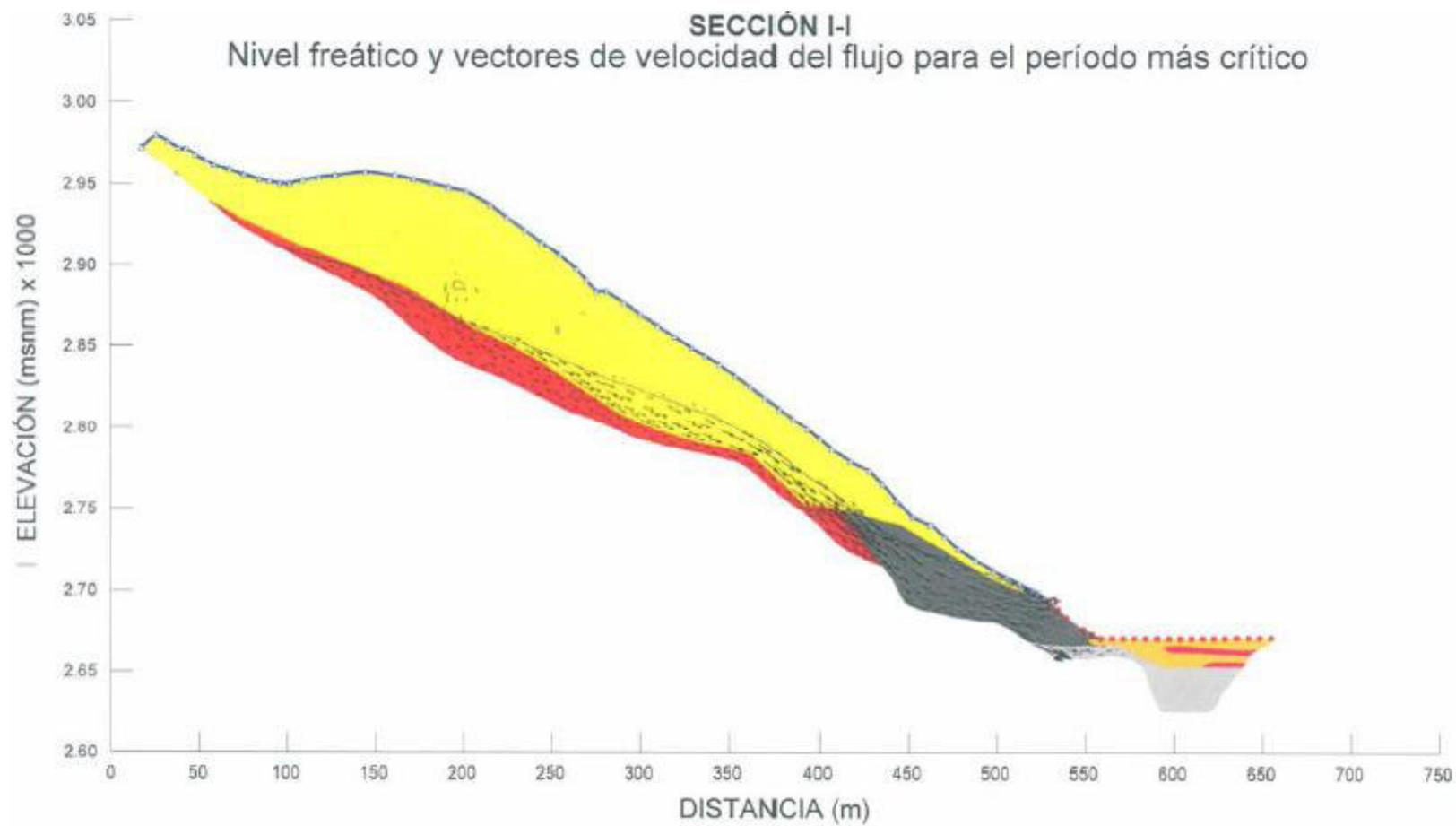


Figura 3.23. Interpretación de la zona de descarga del Derrumbe 5.

3.9.3. Unidades hidrogeológicas

Sobre la base del reconocimiento de las características litológicas aflorantes, sondeos geotécnicos realizados y la evaluación de las zonas de recarga y descarga, se pueden tipificar las unidades hidrogeológicas más relevantes del área, que se mencionan a continuación (véase la Figura 3.24).

- a. Zona 1 - Cuaternario Coluvial (Q-c):** Con la finalidad de comparar escenarios simulados en elementos finitos de secciones hidrogeológicas, se realizaron simulaciones con el modelo FEFLOW+FMH3 (Finite Element Subsurface Flow and Transport Simulation System), para obtener vectores de flujo simulados con elementos de drenaje (galerías, piques y tubos). En el caso de la Zona 1 - Cuaternario coluvial (Q-c) se tomaron los valores de los parámetros geohidráulicos estimados en los diferentes estudios, y se le asignó un espesor entre 10 m y 77 m, y una conductividad hidráulica promedio de 10^{-1} cm/s a 10^{-3} cm/s.
- b. Zona 2 - Cuaternario Paleoderrumbe (Qp-pd):** Para la caracterización de los parámetros geohidráulicos, estos también fueron tomados de los estudios anteriores. Y en lo que corresponde a la conductividad hidráulica, este valor asumido tiene un rango de 10^{-2} cm/s a 10^{-3} cm/s, con un espesor de 8 m a 107 m.
- c. Zona 3 - Brecha de Pizarra (Qp-pd-b):** Está constituida por fragmentos de roca pizarra y cuarcita. Los parámetros geohidráulicos de esta zona varía entre 12 m y 80 m, y la conductividad hidráulica va de 10^{-3} cm/s a 10^{-7} cm/s.
- d. Zona 4 - Basamento Rocoso (D-e):** Casi constituida por pizarra carbonosa muy foliada (dura), ligeramente meteorizada y rugosa.

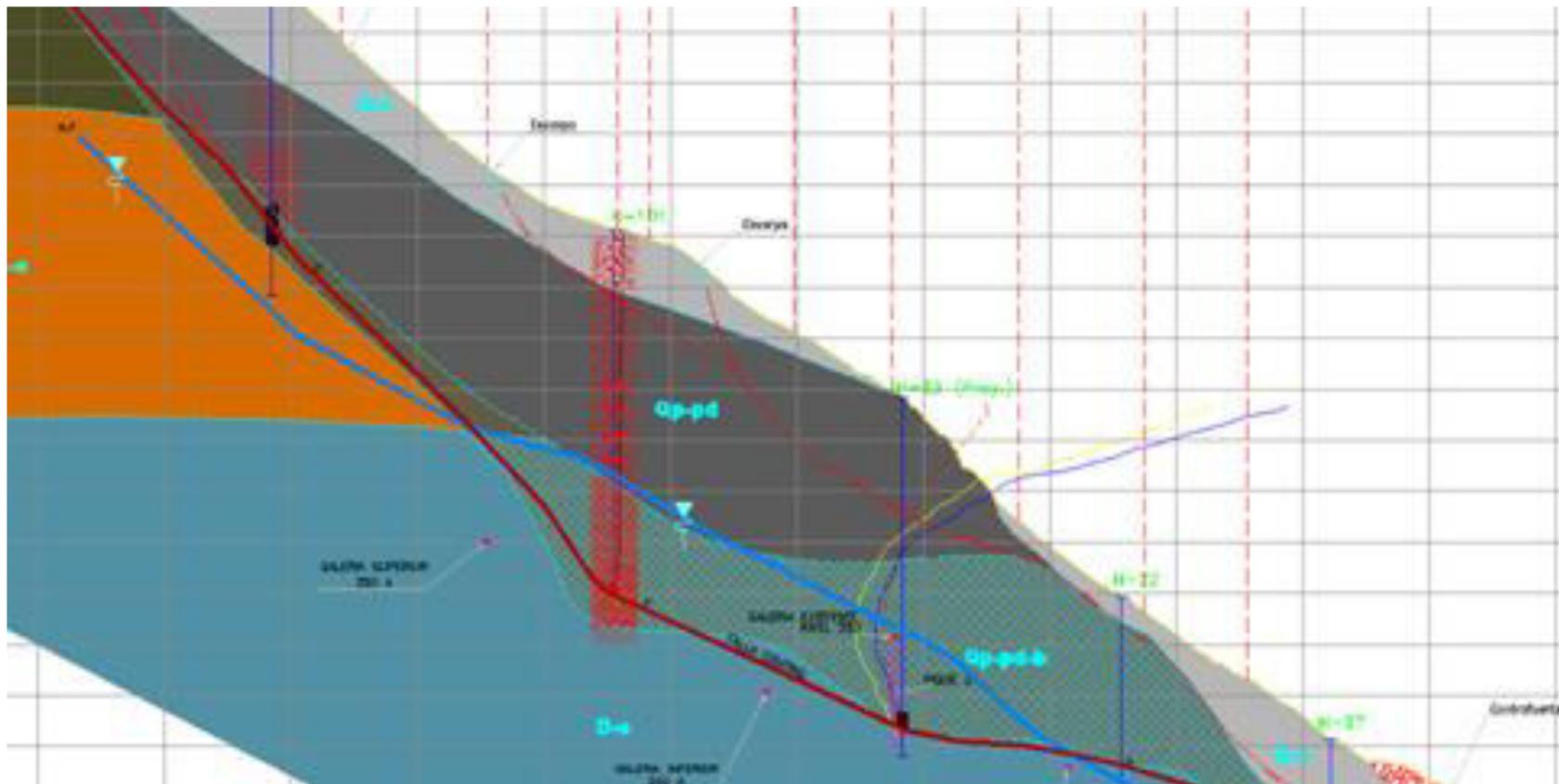


Figura 3.24. Vista 2D de las unidades hidrogeológicas.

Asimismo, es oxidada en las paredes de las diaclasas y fracturas, con granulometría fina, de color gris, con un espesor que varía de 80 m a 100 m, y una conductividad hidráulica de 10^{-7} cm/s a 10^{-9} cm/s.

3.9.4. Conductividad hidráulica

La conductividad hidráulica de las unidades del Derrumbe 5 se obtuvo mediante trabajos de perforación diamantina, con ayuda de los métodos de Lefranc y Lugeon. Aun cuando se desarrollaron pruebas de conductividad hidráulica directa, también ayudó la revisión de información precedente en el área.

Los valores de conductividad hidráulica obtenidos durante los sondeos se analizaron y ponderaron con el cálculo de la media geométrica (los resultados se muestran resumidos en las tablas 3.27 y 3.28).

Tabla 3.27. Resumen de permeabilidades de las zonas geológicas del Derrumbe 5.

Zona	Permeabilidad saturada k_{sat} (cm/s)			Funciones de distribución utilizadas para los análisis	
	Promedio	Mínimo	Máximo	Permeabilidad	Contenido de agua volumétrico
Material de derrumbe (coluvión y paleoderrumbe)	$7,81 \times 10^{-3}$	$6,00 \times 10^{-6}$	$5,89 \times 10^{-2}$	Estimada de gravas arenosas	Estimado de gravas arenosas
Zona de brecha	$8,66 \times 10^{-4}$	$2,80 \times 10^{-7}$	$4,07 \times 10^{-3}$	Fredlund & Xing (1994)	Fredlund & Xing (1994)
Pizarra fracturada	$3,60 \times 10^{-4}$	$2,42 \times 10^{-7}$	$1,73 \times 10^{-3}$	Estimada de arcilla areno-limosa	Estimado de arcilla areno-limosa
Depósitos aluviales	$1,34 \times 10^{-2}$	$1,32 \times 10^{-2}$	$1,35 \times 10^{-2}$	Estimada de gravas arenosas	Estimado de gravas arenosas

Fuente: INGETEC (2006).

Los resultados obtenidos del terreno indican que se trata de materiales de baja a moderada permeabilidad, y muestran valores más conductivos en los coluviales que en el basamento rocoso, lo que permitirá zonificar los sistemas de galerías de drenaje. El resumen de la conductibilidad hidráulica puede verse en la Figura 3.25.

Tabla 3.28. Resumen de propiedades de la matriz del material del derrumbe y la zona de brecha.

Zona geotécnica		DISTRIBUCIÓN GRANULOMÉTRICA			Límites de consistencia			Humedad, w (%)	
		Gravas (%)	Arenas (%)	Finos (%)	LL (%)	LP(%)	IP(%)	w	
								W _n	W _{sat}
Matriz del material de derrumbe (6 muestras)	Mínimo	0.6	45.7	23.4	18.0	12.5	3.1	--	--
	Máximo	30.6	72.8	37.6	22.2	15.0	9.7	--	--
	Promedio	12.0	60.1	27.9	19.8	13.8	6.0	---	--
Zona de brecha (32 muestras)	Mínimo	0.0	20.5	5.2	17.2	3.0	3.9	4.9	18.7
	Máximo	68.5	72.1	70.0	33.0	17.0	16.0	17	25.4
	Promedio	20.5	41.0	38.5	21.5	13.0	8.6	8.8	23.4

Fuente: INGE IEC (2006).

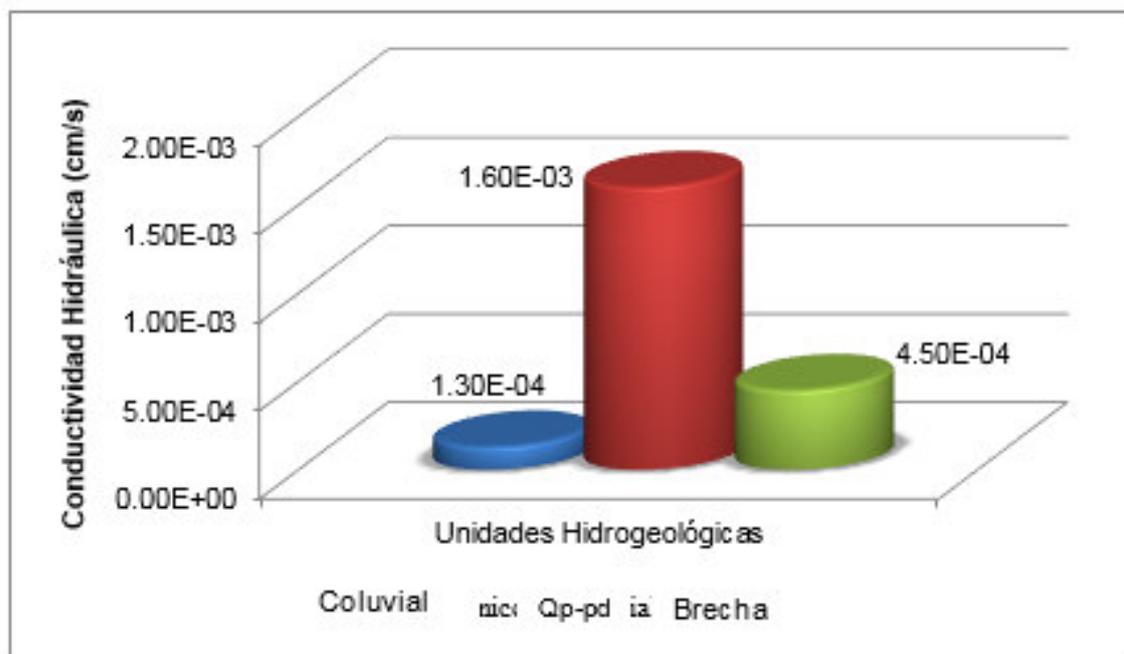


Figura 3.25. Resumen de conductividad hidráulica en el Derrumbe 5.

3.9.5. Geometría del acuífero

Para de cuantificar la superficie de los niveles de agua en el acuífero, se revisaron las lecturas de la instrumentación geotécnica-piezómetros (véase la

Tabla 3.29), cuyas profundidades variaron entre los 5 m y 120 m, aproximadamente.

Tabla 3.29. Lectura de piezómetros en el área del Derrumbe 5.

Instrumentación Geotécnica-Piezómetros			
Piezómetro	Cota de Forro (m.s.n.m.)	Lectura (H)	Cota del Agua (m.s.n.m.)
H - 21R	2 776,20	74,83	2 701,37
H - 22	2 788,52	72,46	2 716,06
H - 24R	2 953,53	79,80	2 873,73
H - 30A	2 890,94	5,29	2 885,65
H - 30R	2 890,77	119,05	2 771,72
H - 32R	2 953,68	116,95	2 836,73
H - 33R	2 866,39	90,90	2 775,49
H - 35	2 739,51	41,93	2 697,58
H - 37	2 733,05	36,53	2 696,52
H - 51	2 702,99	5,29	2 697,70
H - 52	2 702,00	5,79	2 696,21
H - 53	2 702,95	5,45	2 697,50
H - 62	2 840,74	92,57	2 748,17
H - 63	2 866,64	90,48	2 776,16
H - 64R	2 950,10	91,22	2 858,88
H - 66	3 034,15	125,38	2 908,77
H - 67A	3 105,67	5,82	3 099,85
H - 69	2 707,12	9,69	2 697,43
H - 71	2 797,38	79,55	2 717,83
H - 72	2 901,47	93,55	2 807,92
H - 73	2 736,50	33,68	2 702,82
H - 101	2 933,42	97,15	2 836,27
H - 102	2 945,97	110,11	2 835,86
H - 103	2 990,02	132,15	2 857,87
H - 104	2 845,36	69,84	2 775,52

Sobre la base de la data disponible de los niveles, se interpretó la superficie del nivel de agua, y a partir de su construcción en 3D se la delimitó la geometría y potencia del acuífero dominante en las masas geológicas del Derrumbe 5. En la Figura 3.26, se observa la morfología de los niveles de agua subterránea y las tendencias de las áreas próximas, tanto en suelos como en roca.

En los planos hidrogeológicos RMG-HG-001 al RMG-HG-006 del Anexo 6, puede apreciarse con detalle la geometría del acuífero, en función con la topografía de detalle realizada antes de la proyección o diseño del sistema de drenaje profundo a través de galerías, nichos y piques. Es decir, ampliación de la frontera de galerías existentes en el Derrumbe 5.

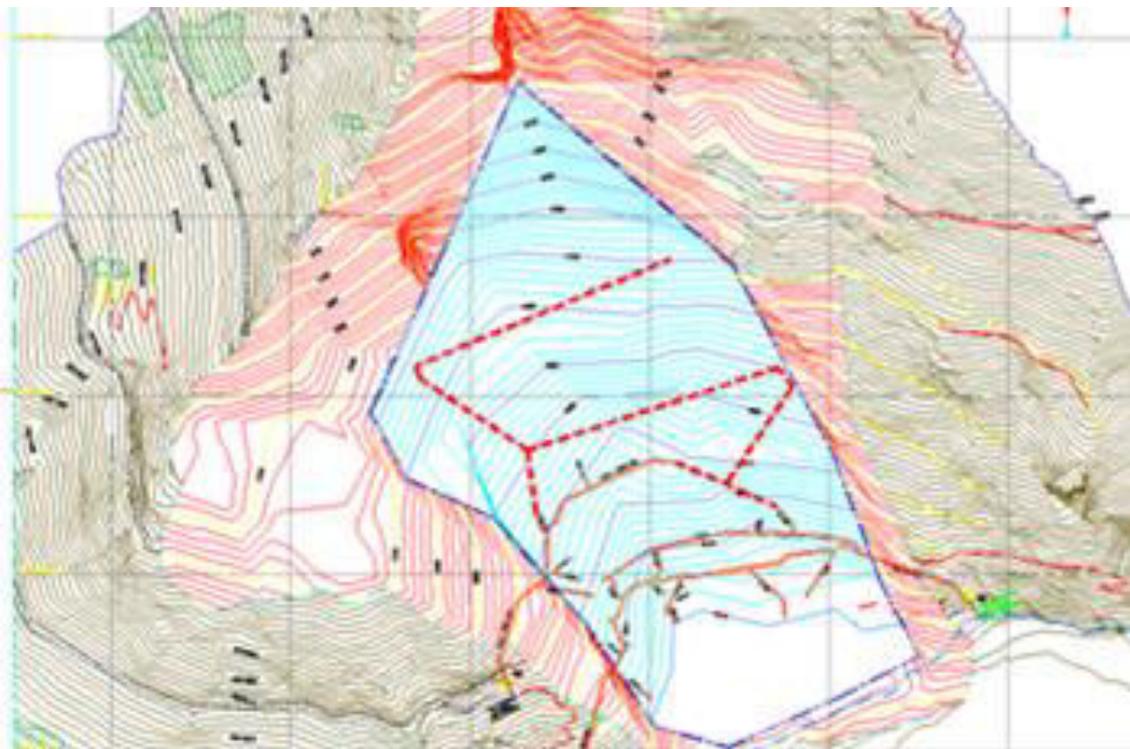


Figura 3.26. Vista cuasi 3D de la geometría del acuífero interpretado del Derrumbe 5.

3.10. Planteamiento del Sistema de Drenaje Subterráneo

3.10.1. Determinación de caudales en galerías

Para determinar el caudal en las galerías, se empleó el modelo conceptual geológico-geotécnico e hidrogeológico, siguiendo los principios de la ley de Darcy; asignando conductividades hidráulicas en función del comportamiento de cada unidad hidrogeológica, de su interacción con la zona de recarga y descarga, y de su relación con las entradas y salidas al sistema o volumen de control

(precipitación, evapotranspiración e infiltración).

Para la estimación del caudal –que puede converger al sistema de galerías propuesto y existente, como se indicó anteriormente–, se realizó un análisis 3D. El eje de las galerías propuestas atraviesa el basamento (Zona 4) por detrás de las masas geológicas del Derrumbe 5 (suelos). Además, tiene drenes inclinados con longitudes variadas de entre 45 m y 35 m, dos piques de 15.80 m, y dos piques más de 41.51 m cada uno, con pendientes de las galerías de 10° a 15° (véase la Figura 3.27).

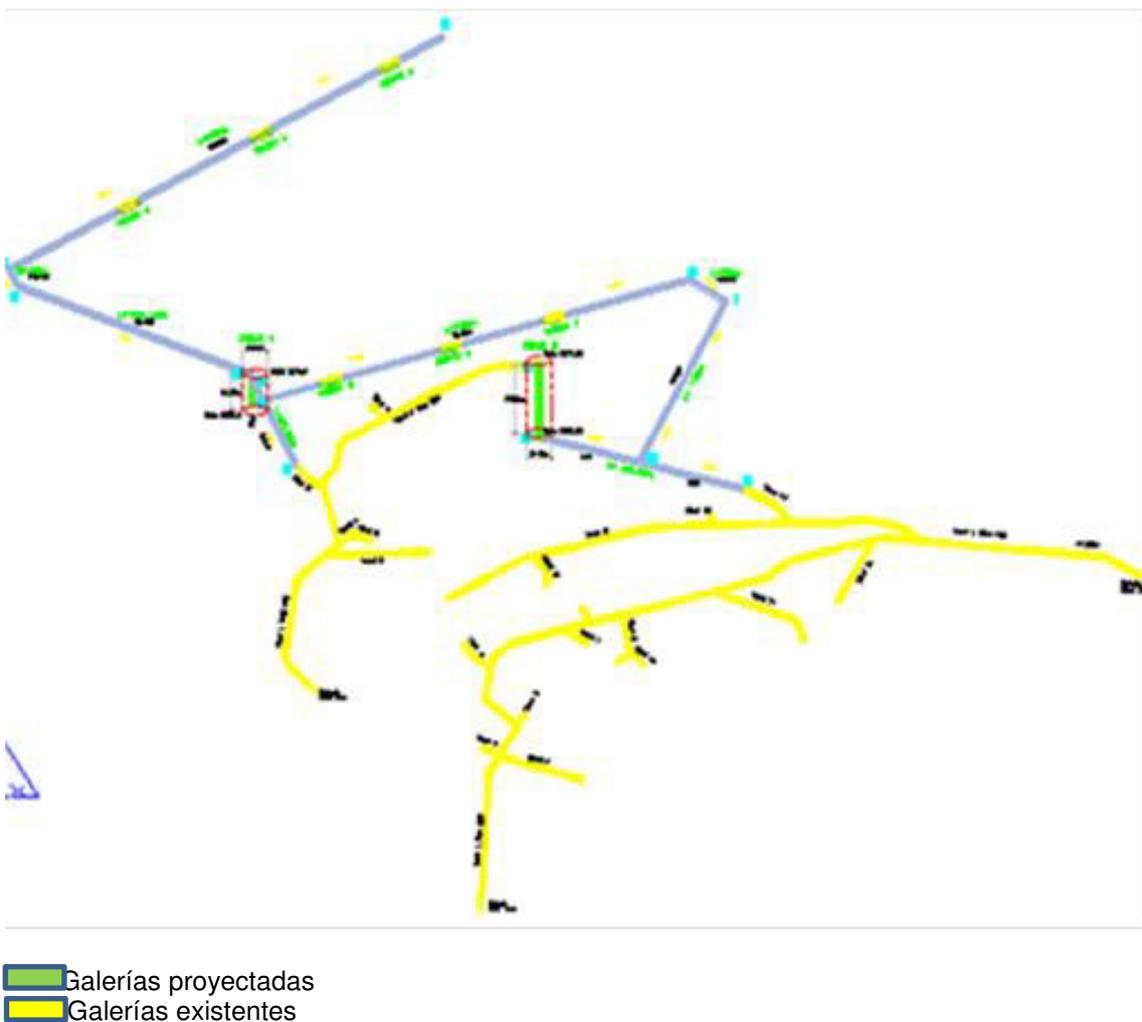


Figura 3.27. Vista cuasi 3D del sistema de galerías existente y propuesto del Derrumbe 5.

En los planos hidrogeológicos RMG-HG-001 al RMG-HG-006 del Anexo 6 de la presente tesis, se indican los diferentes perfiles estratigráficos con el nivel freático.

a. Galería 250A:

- **Nicho A:** Ubicado en la galería S-2, en la parte oeste del Derrumbe 5, con una geometría tipo herradura y las siguientes dimensiones: 3.20 m x 3 m x 8 m (véase el plano RMG-GE-005 del Anexo 6). Dentro de este nicho se contempla la distribución de 10 tubos de drenaje, de los cuales solo uno tendrá recuperación de testigo y los restantes no. Las longitudes de los tubos de drenaje son variables, con mínimo de 35 m y un máximo de 40 m, así como con diámetros de 2", y longitudes de un metro; con accesorios para los empalmes y una longitud total de perforación de 355 m (véase la Tabla 3.30).

Tabla 3.30. Resumen de las características de los tubos de drenaje proyectados, del Nicho A.

Galerías de Drenaje Proyectadas	Nicho	Sin Recuperación	Con Recuperación	Longitud (m)		Long. Total (m)
				Sin recuperación de testigo	Sin recuperación de testigo	
Galería Superior 250 A	Nicho A	9	1	35	40	355

Fuente: CESEL (2011).

- **Nicho B:** Ubicado en la galería S-2, a la derecha del nicho A, con una distancia de separación de casi 68 m y una geometría de tipo herradura con las siguientes dimensiones: 3.20 m x 3 m x 8 m (véase el plano RMG-HG-003 del Anexo 6). Este nicho se ubicarán 10 tubos de drenaje que no tendrán recuperación de testigo. Las longitudes de los tubos de drenaje será de 45 m, con 2" de diámetro y una longitud para los empalmes de un metro. La longitud total de perforación será de 450 m (véase la Tabla 3.31).

Tabla 3.31. Resumen de las características de los tubos de drenaje proyectados, del Nicho B.

Galerías de Drenaje Proyectadas	Nicho	Sin Recuperación	Con Recuperación	Longitud (m)		Long. Total (m)
				Sin recuperación de testigo	Sin recuperación de testigo	
Galería Superior 250 A	Nicho B	10	--	Sin recuperación de testigo	Sin recuperación de testigo	450
				45	--	

Fuente: CESEL (2011).

- **Nicho C:** Ubicado en la galería S-2, a la derecha del nicho B, con una distancia de separación aproximada de 70 m, y geometría tipo herradura, con dimensiones 3.20 m x 3 m x 8 m (véase el plano RMG-HG-002 del Anexo 6 de la presente tesis). Dentro de este nicho se contempla la instalación de 10 tubos de drenaje sin recuperación de testigo. La longitud de los tubos de drenaje es 45 m, con diámetro de 2" y longitudes de un metro para los empalmes. La longitud total de perforación es de 450 m (véase la Tabla 3.32).

Tabla 3.32. Resumen de las características de los tubos de drenaje proyectados, del Nicho C.

Galerías de Drenaje Proyectadas	Nicho	Sin Recuperación	Con Recuperación	Longitud (m)		Long. Total (m)
				Sin recuperación de testigo	Sin recuperación de testigo	
Galería Superior 250 A	Nicho C	10	--	Sin recuperación de testigo	Sin recuperación de testigo	450
				45	--	

Fuente: CESEL (2011).

b. Galería 200A:

- **Nicho D:** Ubicado en la galería M-2, en la parte este del Derrumbe 5. Tiene una geometría tipo herradura con dimensiones de 3.20 m x 3 m x 8 m (véase el plano RMG-HG-003 del Anexo 6). En este nicho se instalarán 10 tubos de drenaje sin recuperación de testigo. Sus longitudes serán de 35 m, con diámetros de 2" y longitudes de un metro para los empalmes. La longitud total de perforación será de 350

m (véase la Tabla 3.33).

Tabla 3.33. Resumen de las características de los tubos de drenaje proyectados del Nicho D.

Galerías de Drenaje Proyectadas	Nicho	Sin Recuperación	Con Recuperación	Longitud (m)		Long. Total (m)
				Sin recuperación de testigo	Sin recuperación de testigo	
Galería Media 200A	Nicho D	10	--	Sin recuperación de testigo	Sin recuperación de testigo	350
				35	--	

Fuente: CESEL (2011).

- **Nicho E:** Ubicado en la galería M-2, a la izquierda del nicho D, a una distancia de separación de 60 m. Tiene forma de herradura y con las dimensiones 3.20 m x 3 m x 8 m (véase el plano RMG-HG-004 del Anexo 6). En ese nicho se instalarán 10 tubos de drenaje, de los cuales uno tendrá recuperación de testigo y los restantes, no. Las longitudes de los tubos de drenaje variarán entre los 35 m y 45 m, con diámetros de 2" y longitudes de un metro para los empalmes. La longitud total de perforación será de 360 m (véase la Tabla 3.34).

Tabla 3.34. Resumen de las características de los tubos de drenaje proyectados, del Nicho D.

Galerías de Drenaje Proyectadas	Nicho	Sin Recuperación	Con Recuperación	Longitud (m)		Long. Total (m)
				Sin recuperación de testigo	Sin recuperación de testigo	
Galería Media 200 A	Nicho E	9	1	Sin recuperación de testigo	Sin recuperación de testigo	360
				35	45	

Fuente: CESEL (2011).

- **Nicho F:** Está ubicado en la galería M-2, a la izquierda del nicho E, a 62 m. Tiene forma de herradura con dimensiones 3.20 m x 3 m x 8 m (véase el plano RMG-HG-003 del Anexo 6). En este nicho se montarán diez tubos de drenaje sin recuperación de testigo. Las longitudes de los tubos será de 45 m, con diámetros de 2" y un metro

de longitud para los empalmes. La longitud total de perforación será de 450 m (véase la Tabla 3.35).

Tabla 3.35. Resumen de las características de los tubos de drenaje proyectados, del Nicho D.

Galerías de Drenaje Proyectadas	Nicho	Sin Recuperación	Con Recuperación	Longitud (m)		Long. Total (m)
				Sin recuperación de testigo	Sin recuperación de testigo	
Galería Media 200 A	Nicho F	10	----	45	--	450

Fuente: CESEL (2011).

c. Piques de drenaje:

- **Pique de drenaje 1:** Ubicado al este del Derrumbe 5, en la intersección de las galerías CB, BA y KJ, a una cota inicial de 2,776.80 m (techo) y cota final de 2,761 m (base). Su diámetro es 2 m y un tamaño de 15.80 m.

Este pique se ubica en la zona 4 (basamento rocoso), y su objetivo es conectar, ventilar y evacuar las aguas captadas de las galerías ED, DC y CB (véase el plano RMG-HG-004 del Anexo 6).

- **Pique de drenaje 2:** Ubicado al oeste del pique de drenaje 1, a una distancia de separación de 125 m, en la intersección de la galería existente (Nivel 250) y GH, a una cota inicial de 2,771.90 m (techo) y cota final de 2,730.39 m (base). El diámetro es 2 m, con un tamaño de 41.51 m.

Este pique se ubica en las zonas geológicas 3 y 4 (brecha y basamento rocoso), y tiene con fin conectar, ventilar y drenar las aguas que se encuentran en la zona 3, en las fracturas, en las fallas locales y que están en contacto con el basamento-brecha (véase el

plano RMG-HG-005 del Anexo 6, y las figuras 3.28, 3.29 y 3.30).

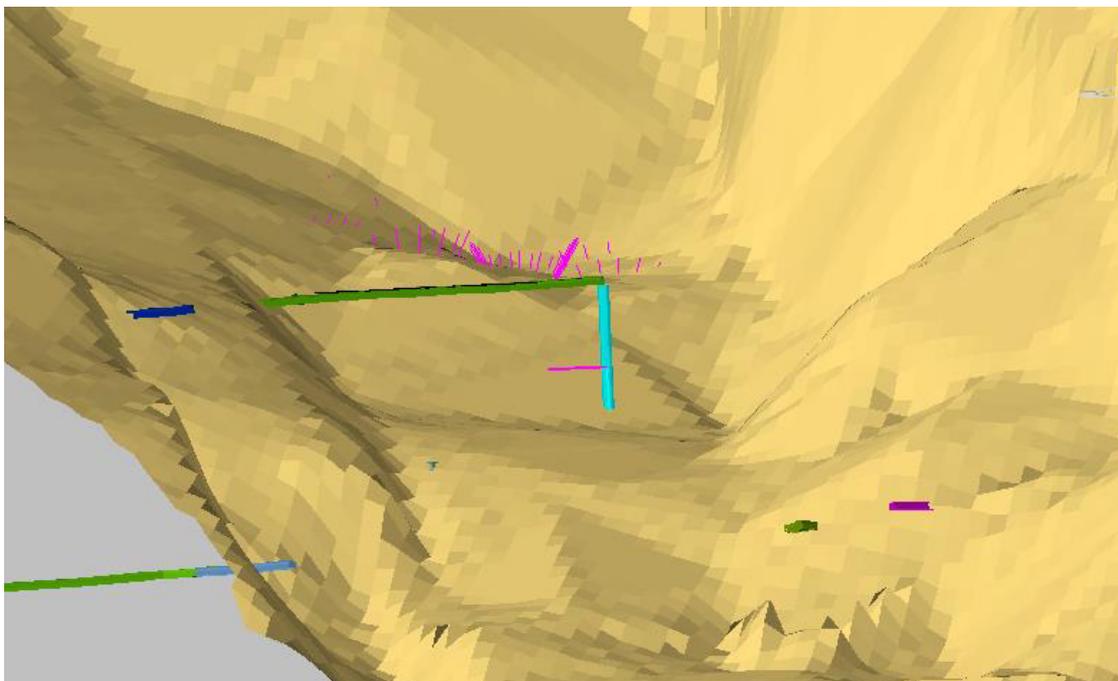


Figura 3.28. Vista esquemática del Pique 1 del Derrumbe 5.

En la Tabla 3.36, se presenta un resumen de los caudales a ser transportados por el sistema de galerías de drenaje profundo, piques y drenes radiales del Derrumbe 5. Y en la figuras 3.31 y 3.32 se observa la construcción en el 2015 de los piques y drenes radiales.

3.10.2. Estimación del espaciamiento entre galerías

Para la estimación de los espaciamientos de las galerías subterráneas proyectadas, se aplicó una metodología que involucra la recarga que influye proporcionalmente en la retención por cobertura, saturación del terreno y la escorrentía superficial. Esto, conlleva a variaciones en los niveles freáticos locales, tomándose como referencia las características hidráulicas con un rango de 10^{-5} cm/s a 10^{-7} cm/s, en material coluvial y lentes de material finos, así como en mezclas de arena muy fina.

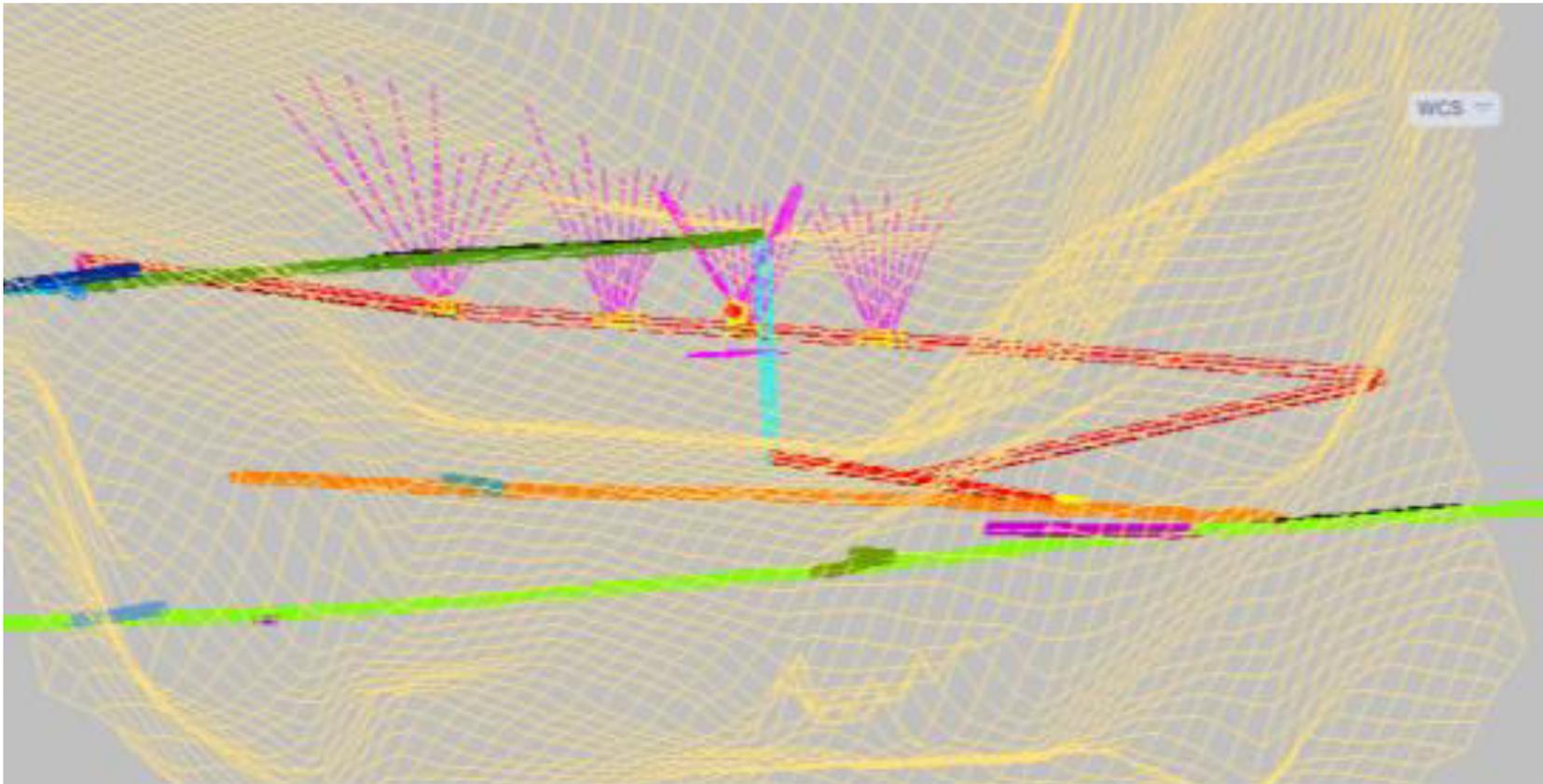


Figura 3.29. Vista de nichos en galerías proyectadas del Derrumbe 5.



Figura 3.30. Vista del Pique 1 y del nivel freático interpretado del Derrumbe 5.

Tabla 3.36. Resumen de caudales para cada tramo de excavación subterránea mediante drenes.

Tramo de Galería	Q (l/s)	S	Y (m)	V (m/s)
ED	2,6	0,1000	0,015	1,209
Nicho a, b y c	2,7	-	-	-
D-C	1,8	0,1444	0,013	1,350
C-B	2,2	0,1444	0,013	1,125
Pique 1	5,4	Vertical	-	-
K'-A	2,3	0,1444	0,013	1,350
Nicho d, e y f	3,5	-	-	-
K'-J	2,1	0,1000	0,014	1,108
J-I	2,6	0,1000	0,013	1,108
I-H	1,4	0,1339	0,012	1,109
Pique 2	15,6	Vertical	-	-
G-F	17,7	0,1500	0,012	1,307



Figura 3.31. Vista del Pique 2, fase construcción, Fuente: Electroperú, (2014).

Considerado que los drenes a instalarse en los nichos, piques y galerías (elementos sumideros), están sujetos a cambios de energía cinética, continuidad y otros; se aplica la siguiente ecuación (2.59):

$$B^2 = \left(\frac{4K(Alt_{nf}^2 - Alt_{subd}^2)}{R} \right) \quad (2.59)$$

donde:

Con permeabilidad del estrato receptor, K : 10^{-6} m/s.

Altura Nivel Freático: Alt_{nf}^2 : 2 854,9 msnm.

Altura dren: Alt_{subd}^2 : 2 810,2 msnm.

Recarga del terreno coluvial: R : 34,5 mm/día.

El espaciamiento promedio del dren B será de 115.90 m (véanse las figuras 3.32 y 3.33).

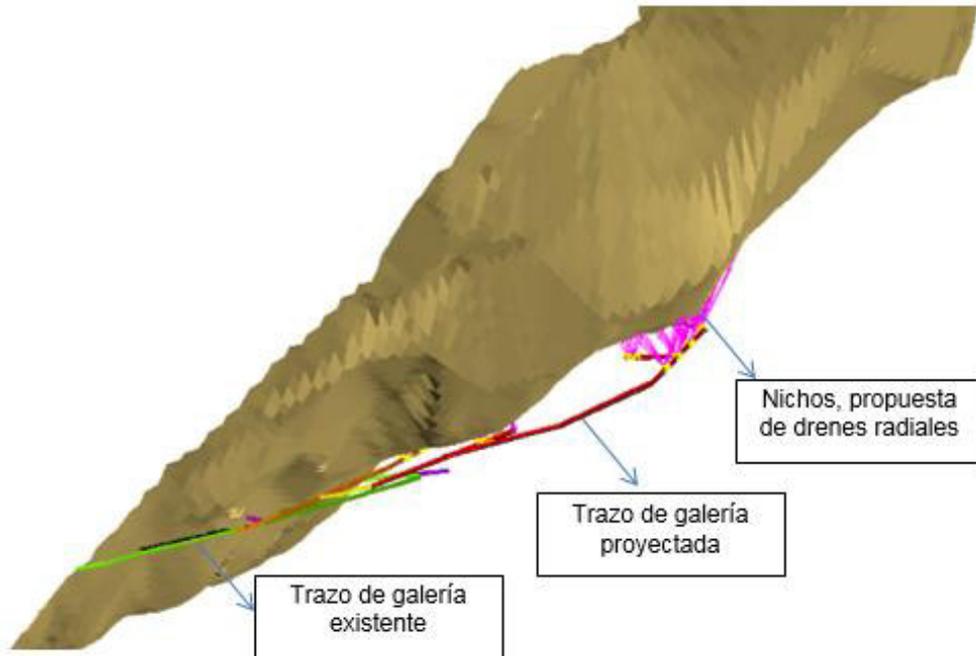


Figura 3.32. Vista 3D del sistema de galerías existente y proyectado.



Figura 3.33. Vista de perforación e instalación de tubería de drenaje en galerías, Fuente: Electroperú, (2014).

CAPÍTULO IV. RESULTADOS, ANÁLISIS Y DISCUSIÓN

4.1. Resultados del Modelo Hidrogeológico Conceptual

El planteamiento de la reproducción tridimensional bajo un escenario digital, se basa en el modelo hidrogeológico conceptual desarrollado con el soporte de los datos geológicos e hidrogeológicos obtenidos *in situ*, y resultados de ensayos de laboratorio, tal como se muestra en las figuras 4.1 y 4.2. Esto ha permitido definir la geometría de las unidades hidrogeológicas en el Derrumbe 5.

De los valores de conductividad hidráulica se obtuvieron a partir de las pruebas hidráulicas en los sondeos diamantinos. Para ello, se tuvo que cruzar toda la información pertinente relacionada con la zona investigada y de los alrededores (Derrumbe 4 y Derrumbe 6).

El modelo incorpora los flujos de ingreso y salida del sistema hidrogeológico. Las entradas de agua fueron representadas por la recarga directa sobre la superficie (suelo coluvial), y los piezómetros calculan la carga hidráulica. Su magnitud, respecto a la dirección del flujo de las aguas subterráneas, se referenció con respecto al nivel del mar.

En cuanto a las salidas de agua del sistema, se consideraron las descargas de los manantiales y demás filtraciones directas al embalse Tablachaca.

En el modelo FEFLOW se representa la morfología del terreno, la geología y sus propiedades hidráulicas, tal como se muestra en las figuras 4.3 y 4.4.

efectuó una primera simulación en el 2010, con soporte de la información antes mencionada y disponible de los años 2006 y 2008.

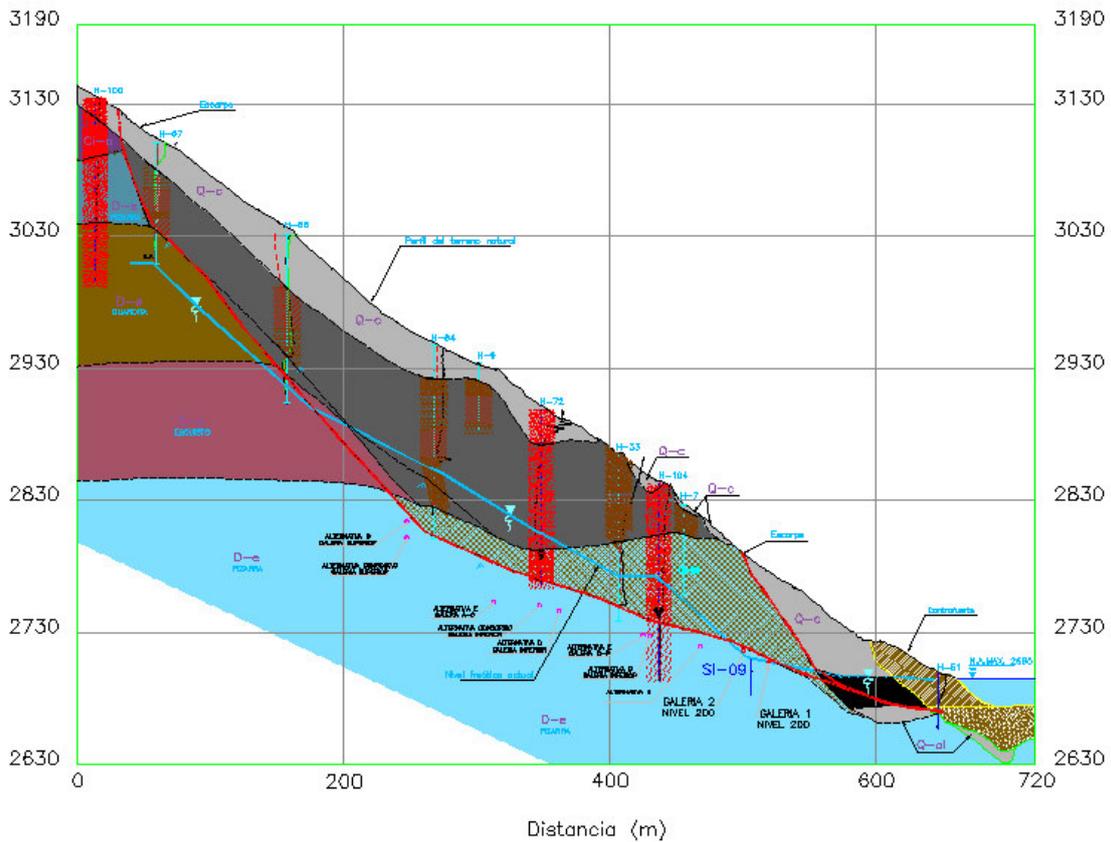


Figura 4.2. Vista 2D modelo conceptual hidrogeológico.

El modelo se realizó en régimen estacionario para las condiciones iniciales del 2010, año del cual se dispone mayor información (piezometría, análisis físico-químicos, datos de aforos puntuales en drenes radiales, datos de conductividad hidráulica) a nivel local. En el modelo FEFLOW+FMH3, versión 5.3, se simuló y calibró en convergencia con la piezometría medida u observada en el 2010, para definir el patrón de flujo del agua subterránea, su dirección y gradiente hidráulico.

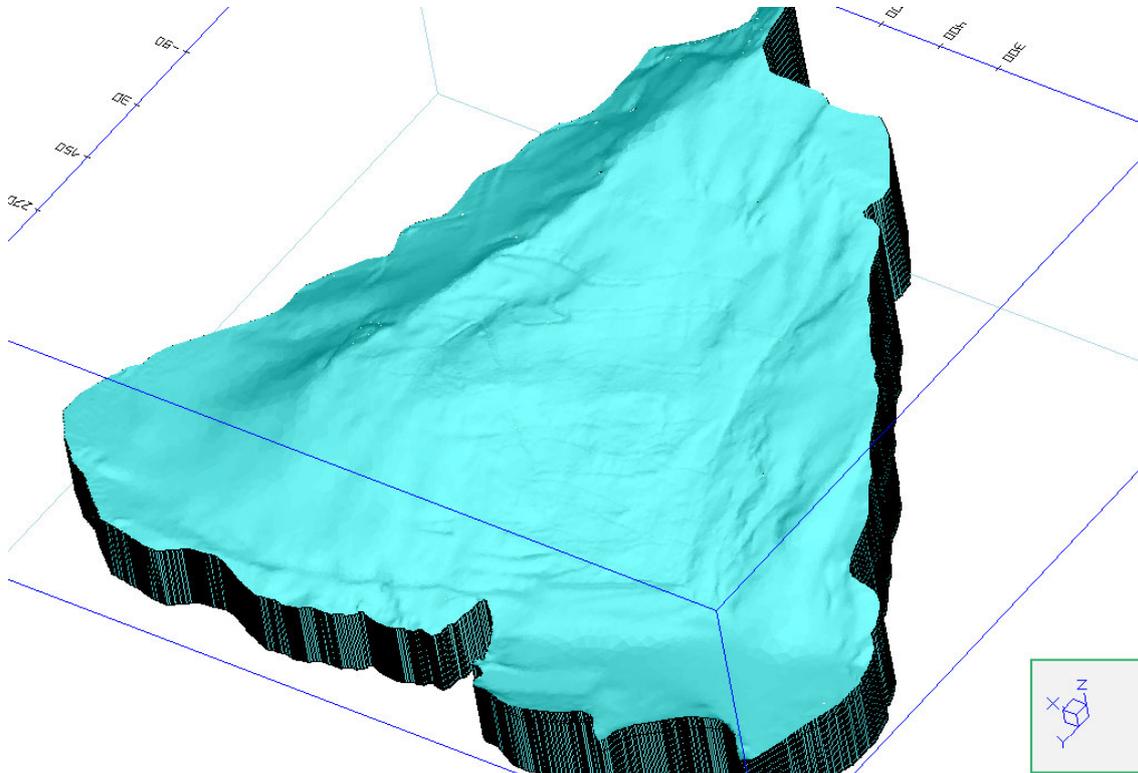


Figura 4.3. Vista Cuasi 3D de la zona investigada en el Derrumbe 5.

La construcción del modelo hidrogeológico conceptual y del modelamiento con el FEFLOW+FMH3 (véase la Figura 4.4), permitió integrar la información y determinar las incoherencias entre los datos de entrada del modelo. Entre ellos están:

- Transmisividades/conductividad hidráulica: existen sectores con valores de conductividad de 11×10^{-4} m/s a 14×10^{-4} m/s (de 95 m/d a 121 m/d).
- Cargas de agua, de las lecturas de los niveles de agua. Esto permite la comparación entre la lectura estimada en campo versus la obtenida numéricamente.

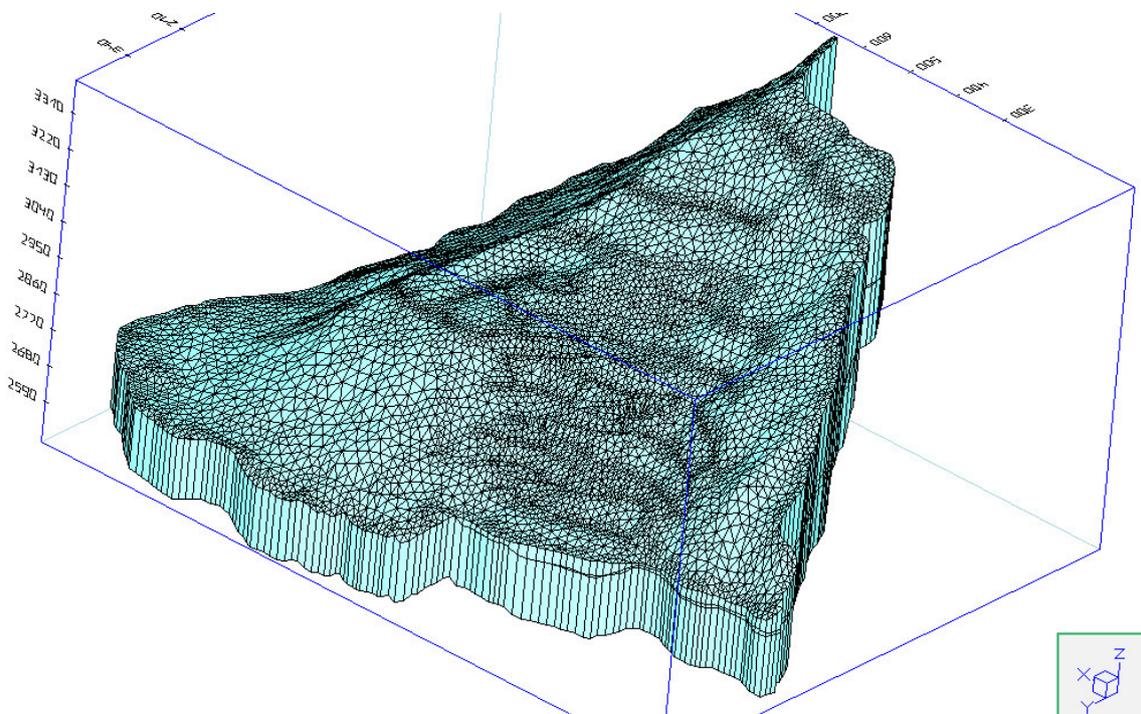


Figura 4.4. Vista 3D de la malla en elementos finitos del Derrumbe 5.

El modelamiento realizado con las condiciones del año 2010, es una primera aproximación al comportamiento hidrogeológico de la zona investigada. Sin embargo, esta información debe ser actualizada y mejorada en forma continua, con la resolución de las principales incoherencias en geometría, conductividad hidráulica y lecturas de niveles de agua, así como la continuidad temporal de los datos de piezometría.

El área simulada en el modelo tiene casi 75 ha, y su malla estuvo compuesta por 350 mil elementos y 29,548 nodos (véanse las figuras 4.4 y 4.5). El modelo cuasi tridimensional está formado por cinco capas, correspondiente a las unidades geológicas prospectadas. También, se empleó la topografía al detalle para establecer la simulación (primera capa), con alturas mayores alcanzadas para el sector simulado, en un rango variable entre los 2,545 m.s.n.m. y los 3,993 m.s.n.m.

4.2.1. Resultados de las condiciones de contorno

Con los datos indicados en las tablas 3.29, 4.1 y 4.2, que han sido utilizadas para elaborar el modelo en FEFLOW (véase la Figura 4.5), se consideró lo siguiente:

- Norte: el nivel de agua en los piezómetros, condición Dirichlet (m) o de primer tipo.
- Este: entrada de agua de la parte alta del depósito coluvial (34 mm/d), considerando la velocidad de Darcy y la condición Neumann o de segundo tipo; con condición de recarga de tasa de flujo por lluvia (infiltración *flow on top*), en morrenas con casi 85 mm/año, con condición tipo Neumann o de segundo tipo.
- El nivel de agua que ingresó al modelo como condición inicial se considera medio saturado, con flujo único y estacionario, y tipo de acuífero libre.

4.2.2. Resultados de los datos de entrada

Para representar las condiciones iniciales del modelo numérico en régimen permanente, se le asignaron los valores de conductividad hidráulica, que se detallan en la Tabla 4.1.

La conductividad hidráulica asignada en para la dirección horizontal K_{xx} y K_{yy} , y la vertical K_{zz} , se indican en la Tabla 4.1. Estas corresponden al promedio geométrico de más de 130 pruebas hidráulicas ejecutadas. El valor asignado en el plano xy es similar, y en la dirección 'z' se asumió 0.7 veces menor en algunas unidades, como en la dirección xy . Se tomó esta consideración por su relativa homogeneidad horizontal y heterogeneidad vertical, especialmente en los estratos de suelos y rocas.

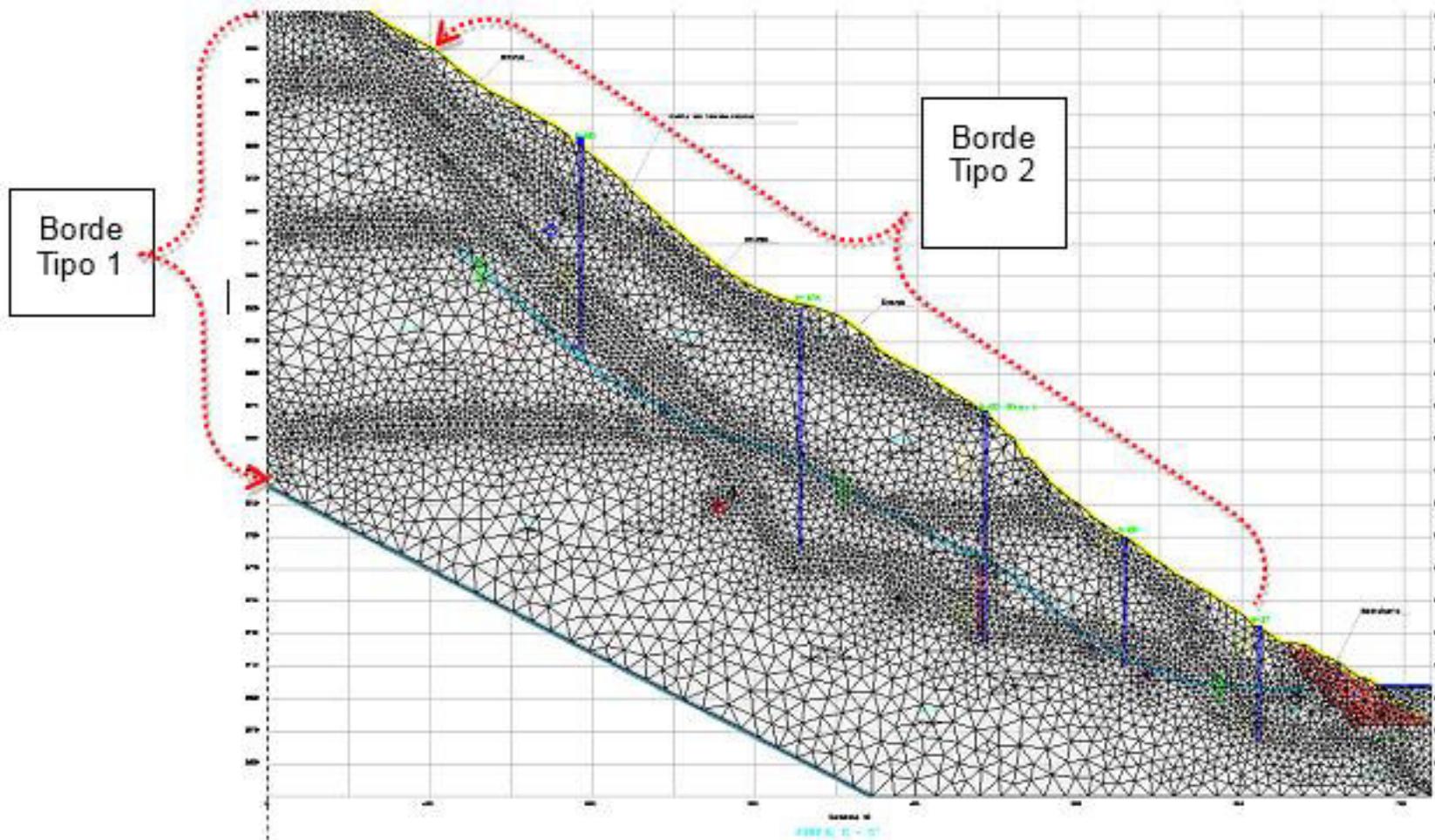


Figura 4.5. Asignación de los tipos de bordes.

Tabla 4.1. Conductividad hidráulica asignada al modelo.

Zona	Material	Kh (cm/s)	Kv (cm/s)	Kh / Kv	Dirección (°)
1	Cuaternario Coluvial (Q-c)	$1,0 \times 10^{-2}$	$1,0 \times 10^{-3}$	1,0	0
2	Cuaternario paleoderrumbe (Qp-pd)	$2,0 \times 10^{-2}$	$2,0 \times 10^{-4}$	1,0	0
3	Brecha Pizarrosa (Qp-pd-b)	$3,5 \times 10^{-4}$	$5,3 \times 10^{-5}$	0,7	150
4	Basamento rocoso (D-e)	$1,2 \times 10^{-7}$	$9,6 \times 10^{-9}$	1,0	0

4.2.3. Resultados de la etapa de calibración del modelo numérico

Los resultados de la etapa de calibración del modelo numérico de flujo de la zona de estudio han sido elaborados siguiendo la metodología indicada anteriormente (véase la Tabla 4.2), y teniéndose en cuenta:

- Valores medidos de las lecturas de los piezómetros.
- Calibración y validación de las lecturas hidráulicas estimadas.
- Balance hídrico local calculado en la etapa de calibración.

La etapa de calibración del modelo se realizó en régimen estacionario, entre valores medidos en campo y cargas hidráulicas simuladas y obtenidas con el referido modelo. En la Figura 4.6, se muestra el nivel aceptable de ajuste entre los valores de cargas hidráulicas y los estimados numéricamente en las condiciones simuladas.

Al respecto, la calibración y validación del modelo numérico, imprescindiblemente requiere de un conjunto de observaciones (mediciones). Para evaluar el ajuste de las variables simuladas (carga hidráulica), ambos deben ser independientes y estar muy vinculadas a las condiciones hidrogeológicas asumidas.

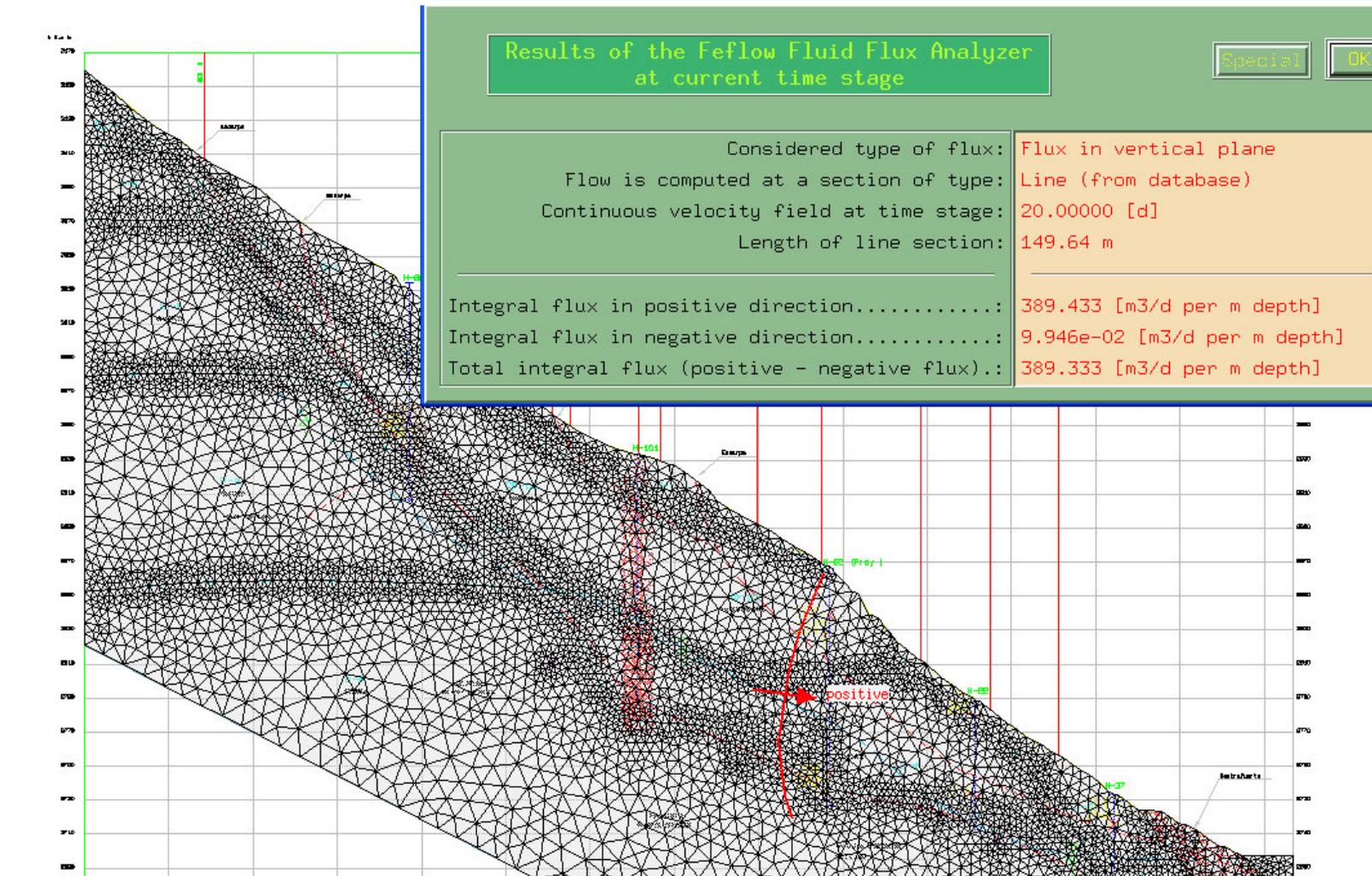


Figura 4.6. Estimación numérica del caudal en el Pique 1.

La evaluación de los resultados de la etapa de calibración del modelo se presenta en la Tabla 4.2. De la evaluación cuantitativa, se obtiene un valor de 5.8% de error medio absoluto, de la diferencia máxima de los niveles de piezométricos observados en campo. Dicho error se considera aceptable.

Tabla 4.2. Cargas hidráulicas observadas (Hc) y simuladas (Hm).

Puntos Observados	Hc	Hm	Este (x)	Norte (y)	Ri (Hc-Hm)	Ri	Ri ^2
1	2 968,57	2 968,78	524 700,00	8 621 650,00	-0,21	0,21	0,04
2	2 910,10	2 910,20	524 750,00	8 621 600,00	-0,10	0,10	0,01
3	2 890,12	2 890,14	524 800,00	8 621 550,00	-0,02	0,02	0,00
4	2 850,25	2 850,24	524 850,00	8 621 500,00	0,01	0,01	0,00
5	2 810,51	2 810,53	524 950,00	8 621 500,00	-0,02	0,02	0,00
6	2 770,40	2 770,41	525 050,00	8 621 450,00	-0,01	0,01	0,00
7	2 730,22	2 730,10	525 100,00	8 621 400,00	0,12	0,12	0,01
8	2 710,78	2 710,80	525 150,00	8 621 400,00	-0,02	0,02	0,00
9	2 698,74	2 698,75	525 200,00	8 621 350,00	-0,01	0,01	0,00

N° puntos	9	9		ARM (Absolute Residual Mean)	0,058
Máximo	2 968,57	2 968,78		RMS (Root Mean Square)	0,088
Mínimo	2 698,74	2 698,75		RMS Normalizado%	0,03%
Diferencia	269,83	270,03			

4.2.4. Resultados de la etapa de validación del modelo numérico

El modelo numérico, presentado en la presente tesis, es una primera aproximación, y es validado toda vez que las variables simuladas se ajustan a las observadas en campo, pero es importante destacar que la validación absoluta no es técnicamente posible, debido a que siempre existirá una incertidumbre muy difícil de cuantificar. Por ello, los resultados de las simulaciones deberán ser interpretados en forma cuidadosa y retroalimentado con mayores datos de campo.

Estos resultados de la etapa de validación del modelo numérico de flujo se obtuvieron mediante una primera comparación entre los resultados de los

caudales estimados en las estructuras de drenaje (por ejemplo, piques y otros) y los caudales estimados mediante el modelo numérico (véanse las tablas 4.3 y 4.4, además de las figuras 4.6 y 4.7).

Tabla 4.3. Caudales estimados en estructuras de drenaje profundo.

Tramo de Galería	Q (l/s)	S	Y (m)	V (m/s)
ED	2,6	0,1000	0,015	1,209
Nicho a, b y c	2,7	-	-	-
D-C	1,8	0,1444	0,013	1,350
C-B	2,2	0,1444	0,013	1,125
Pique 1	5,4	Vertical	-	-
K'-A	2,3	0,1444	0,013	1,350
Nicho d, e y f	3,5	-	-	-
K'-J	2,1	0,1000	0,014	1,108
J-I	2,6	0,1000	0,013	1,108
I-H	1,4	0,1339	0,012	1,109
Pique 2	15,6	Vertical	-	-
G-F	17,7	0,1500	0,012	1,307

Fuente: CESEL (2011).

Tabla 4.4. Caudal numérico estimado en Pique 1.

q (Num) (m ³ /d)	q (Num) (m ³ /d/m)	Prof. (m)	Q Numérico (l/s)
389.33	2.61	149.60	4.51

Fuente: CESEL (2011).

El resultado de la masa de agua que ingresa al modelo, en contraste con la masa que sale (como se muestra en la Figura 4.7), indica que gran parte del fluido está siendo captada por las estructuras de drenaje profundo proyectadas en los diseños (galerías, piques y drenes radiales).

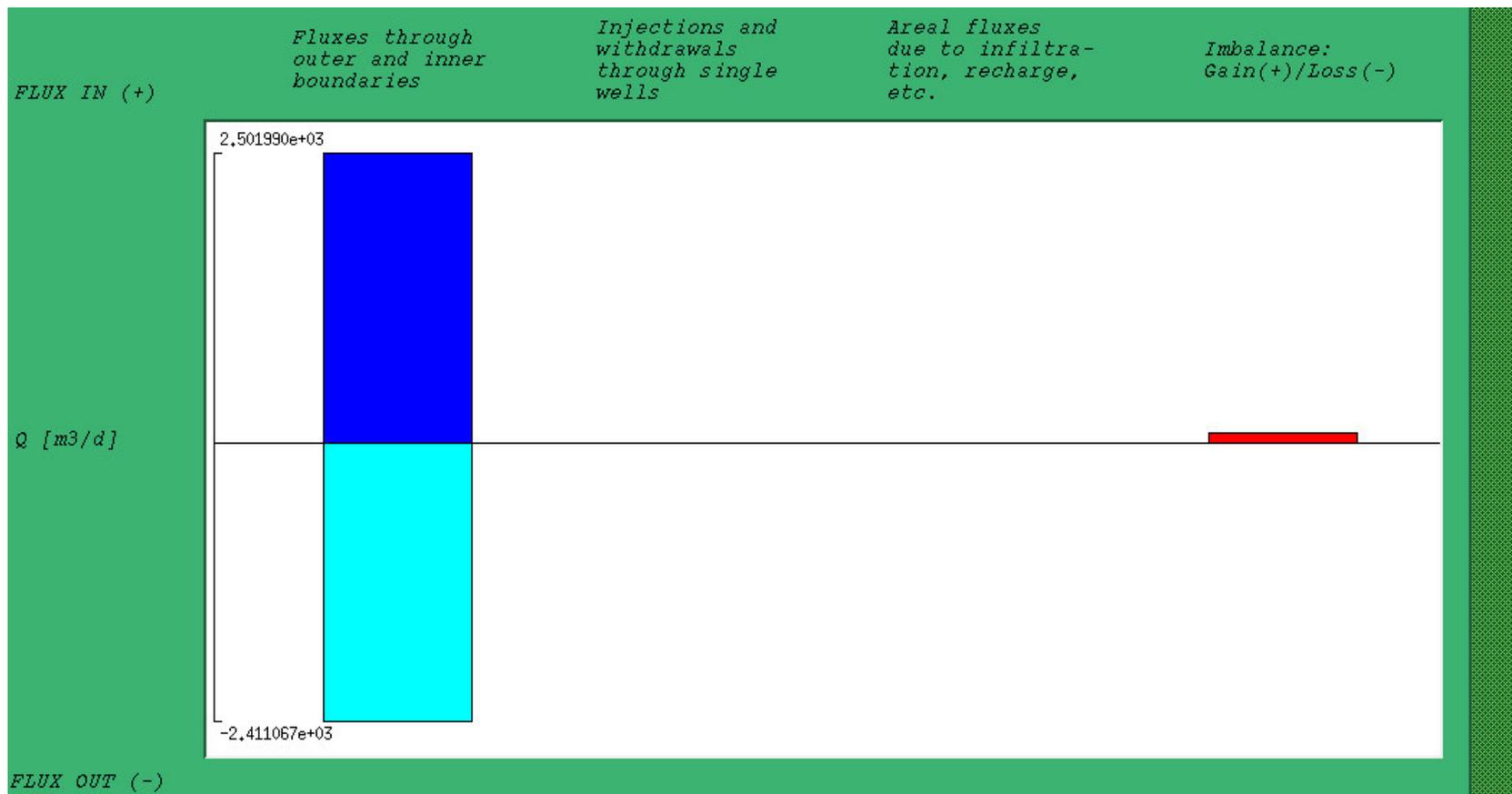


Figura 4.7. Balance hídrico para el Derrumbe 5 (incluye obras de drenaje profundo).

4.3. Resultados de la Etapa de Simulación del Modelo Numérico

A partir del modelo numérico calibrado y validado, se procedió con la simulación de escenarios de abatimiento. En la Figura 4.8, se muestra la comparación de los resultados del lugar geométrico del nivel freático, medido en campo versus el nivel freático simulado. A su vez, en la Figura 4.9 se muestra el abatimiento inducido con las estructuras de drenaje en las galerías 250A y 200A, como piques, nichos y drenes radiales.

En la Figura 4.10, se muestra la dirección del flujo (vectores de flujo), obtenido para la simulación numérica considerada.

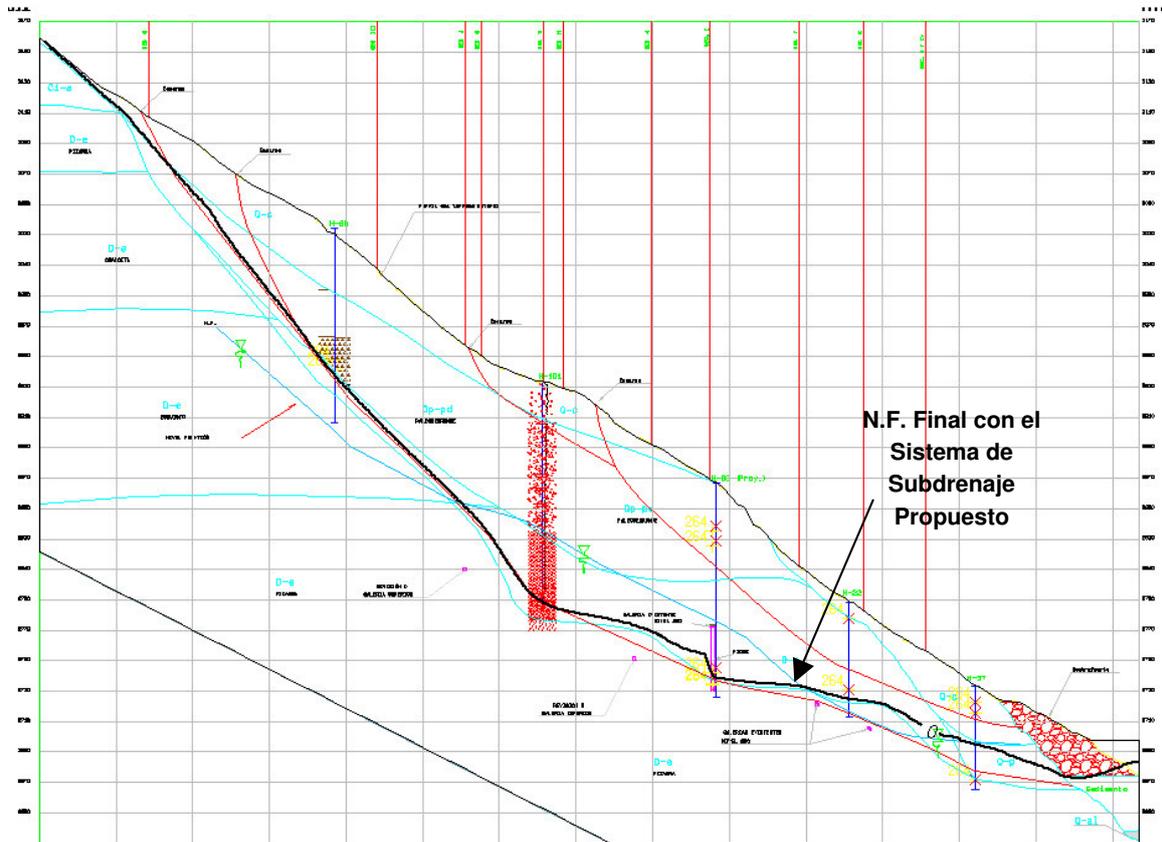


Figura 4.9. Abatimiento del nivel freático simulado con las obras de drenaje profundo.

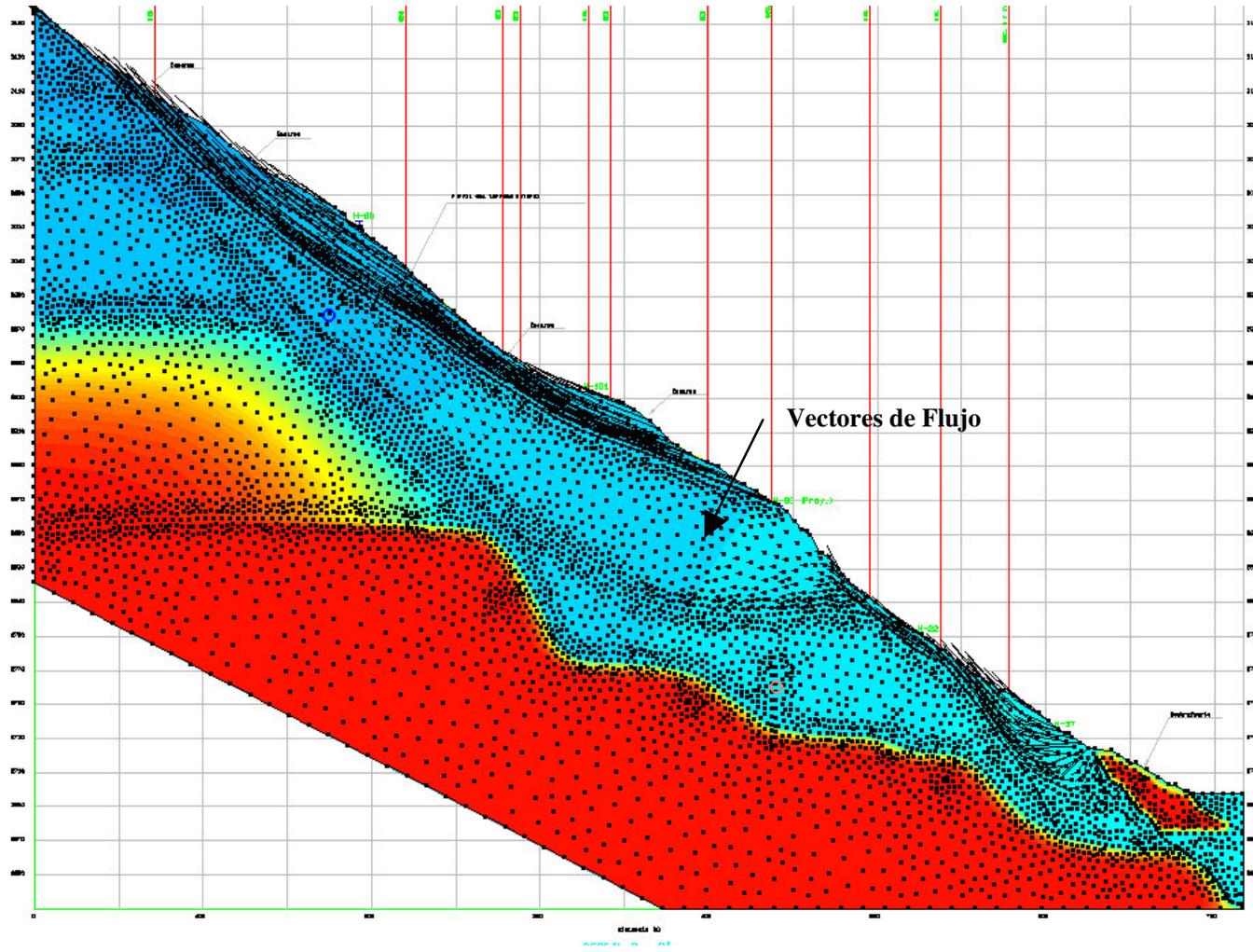


Figura 4.10. Simulación numérica de los vectores de flujo.

CAPITULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

- a. La importancia de la historia geológica de la zona central del Perú, originó el valle interandino del río Mantaro, y el proceso de erosión Valle y Cañón, dieron como resultado la morfología actual de altiplanicies y la presencia de cumbres por encima de los 4,000 m.s.n.m., estas formas de acumulación de suelo y roca, más la presencia de lluvia en la zona, derivaron condiciones hidrogeológicas o tipología de acuíferos, que cuya comprensión es relevante para plantear el modelo conceptual.
- b. Durante los eventos extraordinarios, estas condiciones hidrogeológicas, fueron observados como desencadenantes de la desestabilización del Derrumbe 5, entre 1972 y el 2006, por lo que, se ejecutaron investigaciones geológicas y geotécnicas para conocer el área afectada y los tipos suelos y roca para las zonas de recarga y descarga.
- c. Dentro del área del deslizamiento denominado Derrumbe 5, existen un conjunto de perforaciones diamantinas, dos niveles de túneles exploratorios; inclinómetros, piezómetros, extensómetros; puntos de control topográfico superficial; cunetas y canales para captar y evacuar la escorrentía superficial, datos que permitieron plantear un primer esquema del movimiento de las líneas de flujo dentro de medios porosos.
- d. De los trabajos de investigación geotécnicos e hidrogeológicos (Taladros H-100, H-101, H-103, y H-104), se concluye que el material del Derrumbe 5 está conformado por una capa coluvial, paleoderrumbe, zona de brecha y basamento rocoso, con diferentes espesores y con propiedades hidrogeológicas propias de un material heterogéneo. Esto explica la variación de órdenes en magnitud del valor de la permeabilidad de 7.81×10^{-3} cm/s, mayor detalle de los valores ver Tablas 3.27, 3.28 y Fig. 3.25.

- e. Según el modelo conceptual hidrogeológico aplicado, existe un tipo de acuífero influyente (acuífero libre), cuyas condiciones de frontera, límites y parámetros han sido ingresados al modelo numérico para construir una simulación de las masas del suelo y roca considerados, cuya extensión es 75 Ha, ver Fig. 2.5, 4.4 y 4.5.

- f. El modelo numérico FEFLOW+FMH3 que ha seleccionado de acuerdo a sus condiciones de adaptabilidad a geometrías complejas, flujo saturado y no saturado, ha permitido construir el modelo conceptual geológico-geotécnico e hidrogeológico interpretado, en base a la información de campo y los principios de hidrodinámica subterránea, lo que ha permitido un ajuste a la realidad del acomodo suelo-roca-agua, el indicador estadístico normalizado aplicado a los resultados medidos y estimados numéricamente RMS normalizado está muy por debajo de 1%; lo que indica un buen ajuste de datos y resultados del modelo, ver Tabla 4.2.

- g. El modelo numérico presentado en esta tesis, es una primera aproximación; su validación se sustenta en que las variables simuladas se ajustan a las observaciones de campo. No obstante, se destaca que la validación absoluta no es técnicamente posible, pues siempre existirá incertidumbre al ser imposible o muy difícil de cuantificar. Debido a ello, estos primeros resultados de las simulaciones deberán ser interpretados con cuidado y retroalimentados con más mediciones, incluso en la etapa de post-construcción de las obras de drenaje profundo para dar estabilidad física al Derrumbe 5.

5.2. Recomendaciones

- a. El valor RMS normalizado está muy por debajo de 1%; sin embargo, requiere que la data ingresada al código numérico esté en constante actualización. Por ello, se recomienda seguir con las lecturas de campo y ampliar la cantidad de equipos de monitoreo hidrometeorológicos.

- b. Se recomienda que el trazo de las galerías de drenaje profundo debería realizarse en el basamento rocoso, a una profundidad mayor de 15 m, y gran parte a una distancia de 50 m, distancias que ha condicionado la instalación y longitud de los drenes, que varían entre los 35 m y 45 m.

- c. Sobre la base del modelo geológico-geotécnico e hidrogeológico aplicado en el campo, el sistema de galerías proyectado y las secciones geológicas F-F, G-G, H-H, I-I y K-J, deben ser emplazado en forma longitudinal a las mismas. Las galerías proyectadas atravesarán el basamento de rocas metamórficas clasificadas en su mayor parte como pizarras negruzcas, que son de regular calidad.

- d. En función de los resultados conceptuales y numéricos obtenidos de los diferentes escenarios hídricos (avenidas, estiaje, máximas lluvias), se recomienda la construcción de piques verticales, que atravesarán la concentración de flujo de agua en la cubeta o vaso subterráneo (ubicado en el sector medio del Derrumbe 5). Después de su construcción, se seguirán monitoreando los piezómetros existentes.

- e. Se recomienda continuar la implementación del modelo geológico, geotécnico e hidrogeológico bajo un escenario tridimensional. Esto, para ingresar información al modelo numérico, contemplando la totalidad de las obras construidas con fines de drenaje, en aras de mejorar la calibración del modelo numérico aplicado.

- f. Por último, se recomienda que después de terminadas las obras del drenaje profundo, se revegetalice el material coluvial, debido a que la mayor parte de la recarga en los estratos más profundos es a través de este tipo de suelo (zonas de recarga), lo cual origina cambios en la presión de los poros y menor resistencia del suelo.

REFERENCIAS

- Anderson, X., & Woessner, X. (1992). Simulation of flow and advective transport. London Wall, London: McGraw-Hill.
- Autoridad Nacional del Agua [ANA] (2010). Ley general de aguas nacionales.
- Barton, X. (1974). *Índice Q*. Recuperado de <http://es.slideshare.net/billgonzalesingeniero/clasificacion-q-barton>
- Bear, J. (1997). Dynamics of Fluids in Porous Media. New York, NY: Dover Publications, Inc.
- Bieniawski, Z. T. (1989). *Sistema RMR (Roch Mass Rating)*. Recuperado de <https://geologiaygeotecnia.wordpress.com/2014/10/16/clasificacion-geomecanica-rmr-bieniawski-1989-hoja-de-calculo/>
- Bishop, B. (1988). Landslide stabilization by means of drainage tunnels in central Italy, pp. 857-862.
- Brown, A. G. (1996). Geomorphology & groundwater. John Wiley & Sons, Chichester. 212 pp.
- Castany, G. (1975). *Prospección y explotación de las aguas subterráneas*. Barcelona, España: Omega.
- CESEL. S.A. (2011). Estudio definitivo de las obras de estabilización para el Derrumbe 5.
- Chow, V. T. (1964). *Handbook of Applied Hydrology*. New York, NY: McGraw-Hill.
- Cooley, R. L. (1982). Incorporation of Prior Information on Parameters Into

- Nonlinear Regression Groundwater Flow Models. *Water Resources Research* 18: 965-976.
- Craig, R. F. (1991). *Soil Mechanics* (5th ed.) New York, NY: Chapman & Hall.
- Custodio, E. (2001). *Hidrología subterránea*. Barcelona, España: Omega.
- Diersch, H. J. (2014). *Finite Element Modeling of Flow, Mass and Heat Transport in Porous and Fractured Media*. Heidelberg, Germany: Springer-Verlag.
- Domenico, P., & Schwartz, F. (1998). *Physical and Chemical Hydrogeology* (2nd ed.) España: Pearson-Prentice Hall.
- Electroperú. (2011). Estudio integral de la represa Tablachaca.
- Electroperú. (2014). Informe de Supervisión de la construcción de las galerías de drenaje.
- Fetter, C. W. (1989). *Applied Hydrogeology*. New York, NY: Prentice Hall.
- Forrester, K. (2001). Slope Stability Analysis. *Subsurface Drainage for Slope Stabilization*, pp. 91-100.
- González, L. (2003). *Ingeniería geológica*. Madrid, España: Pearson-Prentice Hall.
- Huebner, K. (1975). *The Finite Element Method for Engineers*. New York, NY: Wiley, 500 pp.
- INGETEC. (2006). Estudio Integral del Embalse Tablachaca.
- Koerner, R. (2004). *Designing with Geosynthetics* (6th ed.). Philadelphia, PA: Autor.
- Konikow, L., & Bredehoeft, J. (1992). *Computer Model of Two-Dimensional Solute Transport and Dispersion in Groundwater*. Madison: University of

Wisconsin Press.

Krahn, J. (2007). *Stability Modeling with SLOPE /W*. Calgary, CA: International Ltd.

Kramer, F. (1996). *Geotechnical Earthquake Engineering*. Tomado de [ftp://www.nuquake.eu/AnalizaSeizmickehoOhrozenia/ucebne%20texty/Geotechnical%20Earthquake%20Engineering%20\(Kramer%201996\).pdf](ftp://www.nuquake.eu/AnalizaSeizmickehoOhrozenia/ucebne%20texty/Geotechnical%20Earthquake%20Engineering%20(Kramer%201996).pdf)

Lambe, T. W. & Whitman R. V. (1969). *Soil Mechanics*. Cambridge, MA: John Wiley & Sons.

Lianyang, Z. (2004). *Engineering Properties of Rocks*. Amsterdam, Netherlands: Elsevier.

Pastor, M. (2002). *Numerical Modelling in Geomechanics*. París, Francia: Hermes-Lavoisier.

Polubarinova-Kochina, P. (1962). *Theory of ground water movement*. Princeton, NJ: Princeton Legacy Library.

Puzrin, A., Alonso, E., & Pinyol, N. (2010). *Geomechanics of Failures*. Recuperado de <http://www.springer.com/us/book/9789048135301>

Terzaghi, K. (1969). *From Theory to Practice in Soil Mechanics*. Recuperado de <https://www.amazon.es/Theory-Practice-Soil-Mechanics/dp/0471853380>

Thorntwaite, C. W. (1955). *The Water Balance*. Recuperado de <https://pubs.usgs.gov/tm/tm6-a31/tm6a31.pdf>

Veliz Francia, G. (2010). Modelamiento hidrogeológico zonas de campamentos mineros - Chinalco. Tesis de Universidad Agraria La Molina.

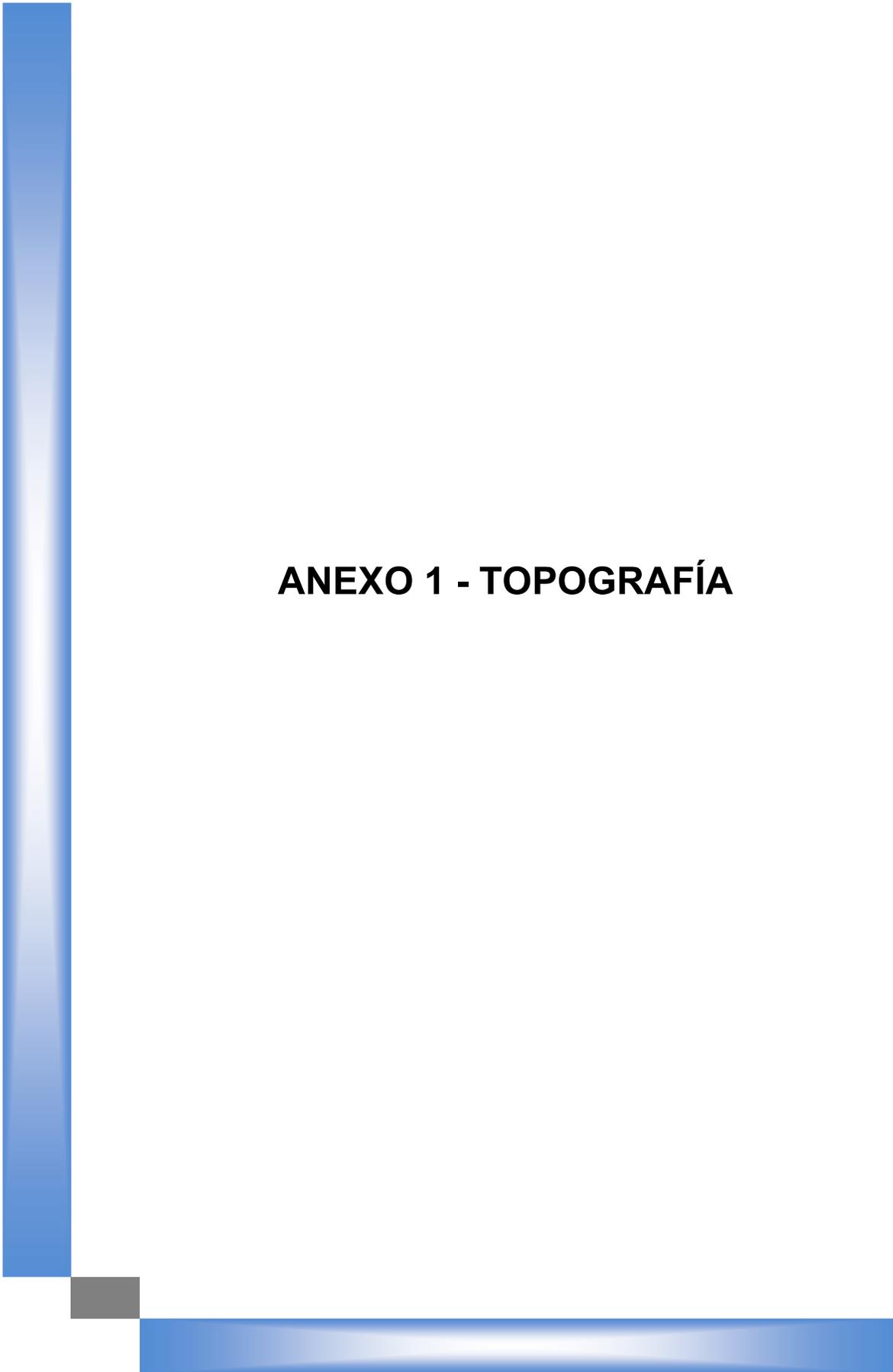
Ven Te Chow, D. (2014). *Hidrología aplicada*. Bogotá, Colombia: McGraw-Hill.

Voss, C. (1984). A Finite Element Simulation Model For Saturated – Unsaturated Fluid-density-dependent Groundwater. U.S. Geological Survey: Water Resources Investigations.

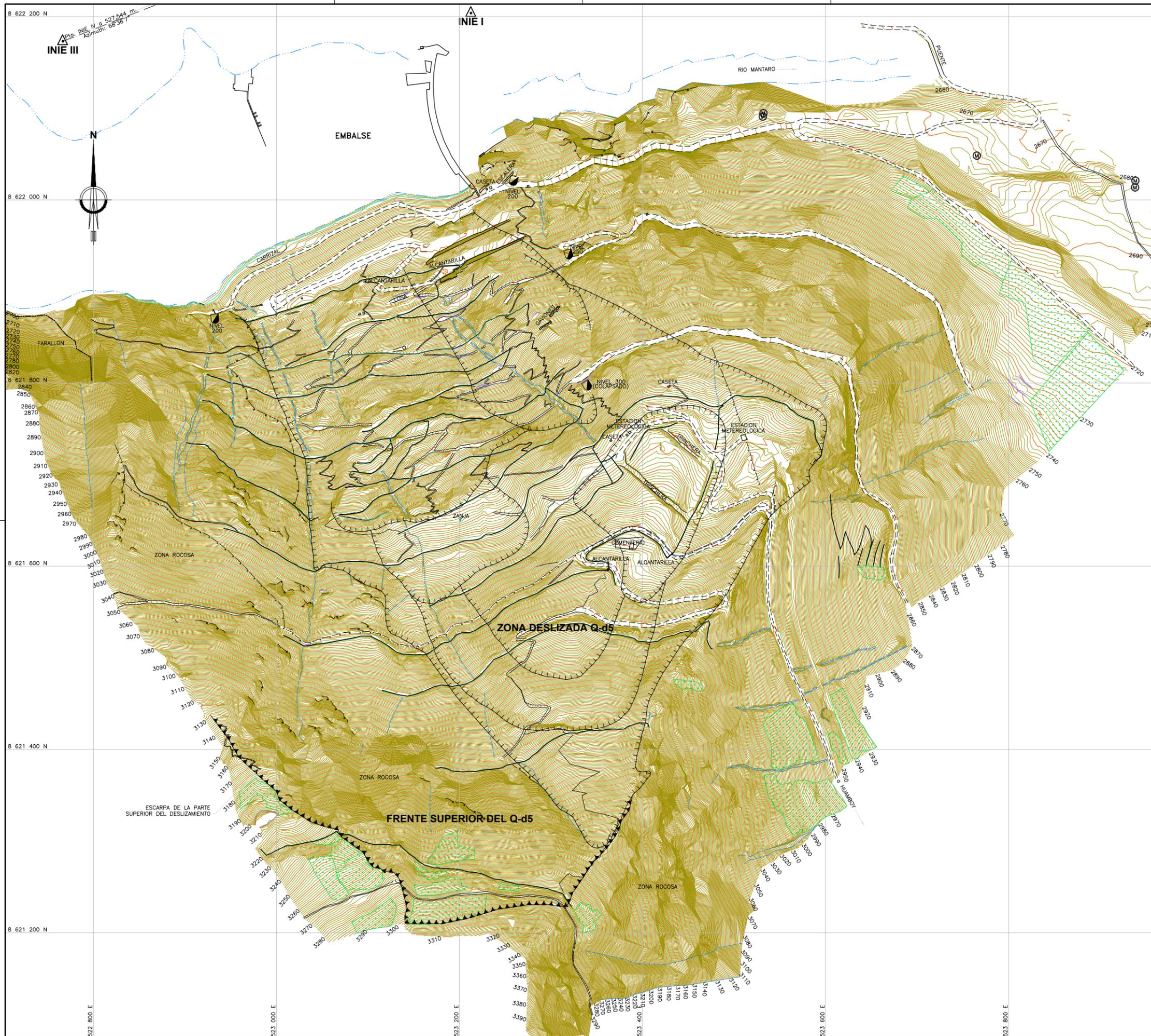
Wang, H. (1982). *Introduction to Groundwater Modeling. Finite Difference and Finite Element Methods*. San Diego, CA: Academic Press.

Wasy DHI. (2014). User's Manual. Institute for Water Resources: Planning and Systems Research.

ANEXOS

A decorative graphic element consisting of a thick blue L-shaped bar. It starts as a vertical bar on the left side of the page, then turns 90 degrees clockwise at the bottom left corner to become a horizontal bar extending towards the right. A small grey square is positioned at the corner where the two blue bars meet.

ANEXO 1 - TOPOGRAFÍA



UBICACION
S/E

**PUNTOS DE CONTROL DE ORDEN B
COORDENADAS UTM WGS 84**

VERTICE	NORTE	ESTE	COTA
INIE I	8 622 203,896	523 212,575	2 762,037
INIE III	8 622 173,155	522 766,620	2 760,576

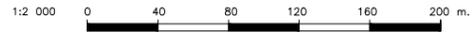
**PUNTO DE CONTROL
COORDENADAS UTM WGS 84**

VERTICE	NORTE	ESTE	COTA
INIE IV	8 622 365,341	523 257,912	2 908,788

LEYENDA

SIMBOLOGÍA	DESCRIPCIÓN
	CURVAS MAESTRAS
	CURVAS SECUNDARIAS
	ESTRUCTURAS
	TERRENO DE CULTIVO
	POSTE DE MEDIA TENSION
	ACCESO
	CAMINO DE HERRADURA
	CAMINO PEATONAL
	CANAL Y/O CUNETA
	RIO, QUEBRADA
	MURO DE PIEDRA
	BOCAMINA
	ESCARPAS
	PIE DE ROCA
	CERCO
	ESPEJO DE AGUA
	FARALLÓN
	BORDE DE EMBALSE
	VERTICE DE POLIGONAL

- NOTAS :**
- LA ESCALA GRÁFICA MOSTRADA ES PARA EL FORMATO A-1, PARA A-3 CONSIDERAR EL DOBLE.
 - DIMENSIONES EN METROS, SALVO INDICADO.
 - USAR SOLO DIMENSIONES INDICADAS EN LOS PLANOS.
 - LA INFORMACION DE LAS FALLAS GEOLOGICAS HA SIDO COMPLEMENTADA CON EL PLANO TB-2 1-D4-21202G-21203-FIG-5.1, PROPORCIONADO POR EL CLIENTE



REV. N°	FECHA	DESCRIPCION	REVISO	APROBO
0	10/02/10	EMITIDO PARA CONSTRUCCION	J.G.B.	C.S.S.



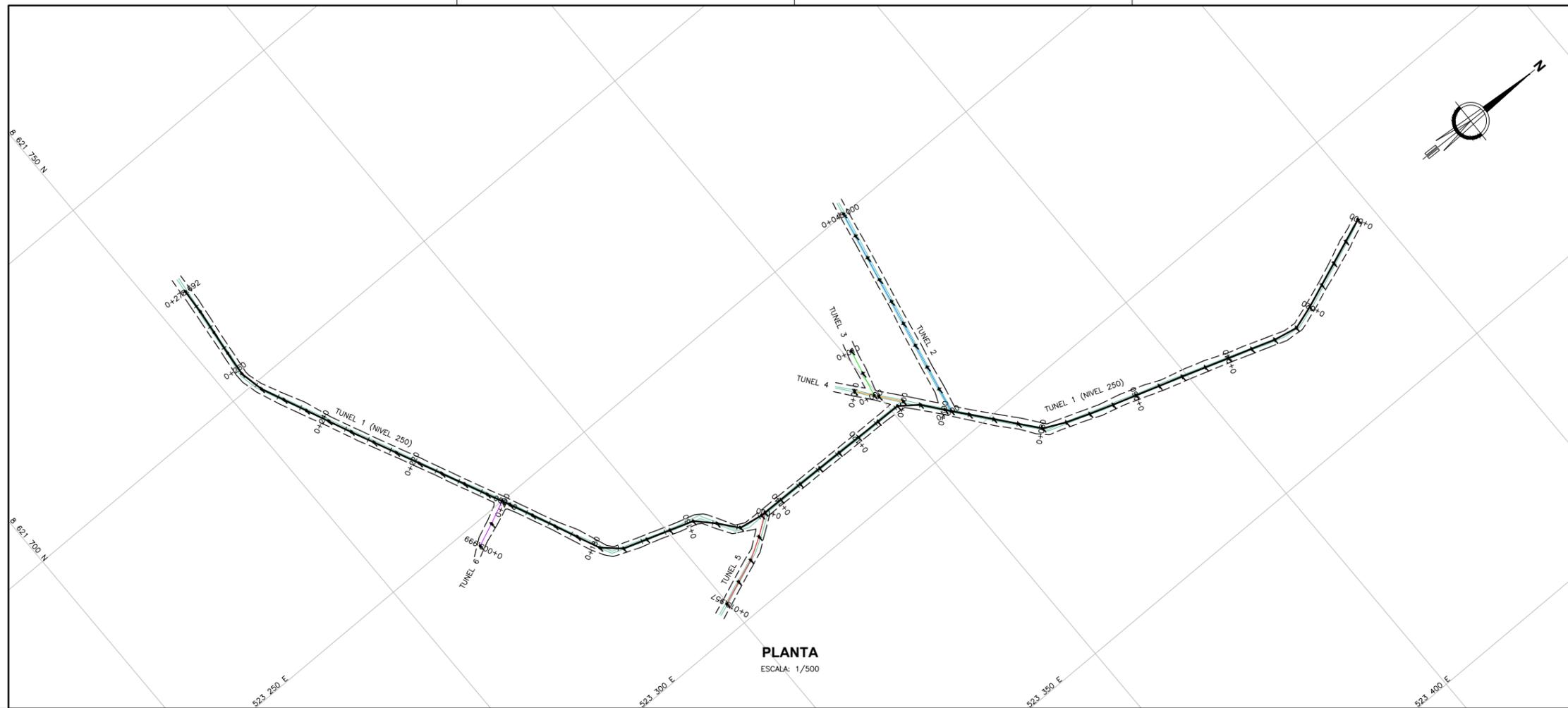
PROYECTO: **"Estudio Definitivo de las Obras de Estabilización Seleccionadas para El Derrumbe - 5"**

TOPOGRAFÍA

TITULO: **DERRUMBE - 5 PLANTA TOPOGRAFICA**

PLANO N°: **CSL-093300-10-001**

CESEL INGENIEROS	ELABORO : J.C.Q.	REVISO : J.G.B.	ESCALA : 1 : 2 000	REV. : 0
	DIBUJO : J.E.G.	APROBO : C.S.S.	FECHA : FEB. 2010	TRABAJO : 093300



PLANTA
ESCALA: 1/500

DESCRIPCION DE TUNEL 1 (NIVEL 250)

PROGRESIVA INI	PROGRESIVA FIN	OBSERVACION	DESCRIPCION
0+000	0+003,80		REVESTIDO CON CONCRETO PULIDO
0+003,95	0+042		MARCO DE ACERO, ESPESOR 0.10 m, CADA 1.00 m.
0+097	0+105,30	LADO DERECHO	REVESTIDO CON CONCRETO PULIDO
0+105,30	0+112,60		REVESTIDO CON CONCRETO PULIDO
0+112,60	0+128,80		MARCO DE ACERO, ESPESOR 0.10 m, CADA 1.00 m.
0+131,50	0+143,50		MARCO DE ACERO, ESPESOR 0.10 m, CADA 1.00 m.
0+148,50	0+167,50		MARCO DE ACERO, ESPESOR 0.10 m, CADA 1.00 m.
0+189,10	0+216,30		MARCO DE ACERO, ESPESOR 0.10 m, CADA 1.00 m.
0+220	0+223		MARCO DE ACERO, ESPESOR 0.10 m, CADA 1.00 m.
0+255,20	0+275,90		MARCO DE ACERO, ESPESOR 0.10 m, CADA 1.00 m.
0+251,80		LADO IZQUIERDO	CAIDA DE AGUA
0+263		LADO IZQUIERDO	CAIDA DE AGUA
0+266		LADO IZQUIERDO	CAIDA DE AGUA
0+273,40		LADO IZQUIERDO	CAIDA DE AGUA
0+276,80		LADO IZQUIERDO	CAIDA DE AGUA
0+279		LADO IZQUIERDO	CAIDA DE AGUA
0+283,10		LADO IZQUIERDO	CAIDA DE AGUA

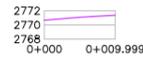
DESCRIPCION DE TUNEL 2

PROGRESIVA INI	PROGRESIVA FIN	OBSERVACION	DESCRIPCION
0+001,40	0+004,00	LADO DERECHO	REVESTIDO CON CONCRETO PULIDO
0+001,40	0+005,80	LADO IZQUIERDO	REVESTIDO CON CONCRETO PULIDO
0+019,10	0+047,909		MARCO DE ACERO, ESPESOR 0.10 m, CADA 1.00 m.

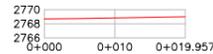
DESCRIPCION DE TUNEL 3

PROGRESIVA INI	PROGRESIVA FIN	OBSERVACION	DESCRIPCION
0+005,50	0+011,45		MARCO DE ACERO, ESPESOR 0.10 m, CADA 1.00 m.

PERFIL - TUNEL 6



PERFIL - TUNEL 5



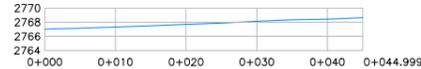
PERFIL - TUNEL 4



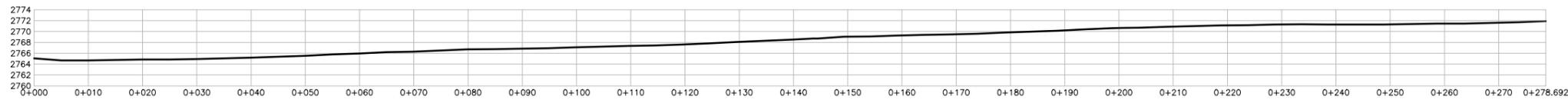
PERFIL - TUNEL 3



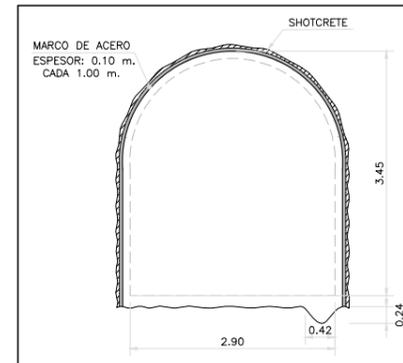
PERFIL - TUNEL 2



PERFIL - TUNEL 1



PERFILES LONGITUDINALES
ESCALA: 1/500



SECCION TIPICA
ESCALA: 1/50

DESCRIPCION DE TUNEL 4

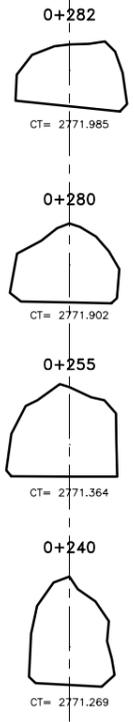
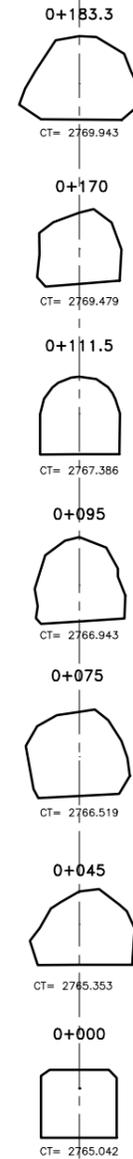
PROGRESIVA INI	PROGRESIVA FIN	OBSERVACION	DESCRIPCION
0+000	0+005		REVESTIDO CON CONCRETO PULIDO
0+005	0+013,872		MARCO DE ACERO, ESPESOR 0.10 m, CADA 1.00 m.

DESCRIPCION DE TUNEL 5

PROGRESIVA INI	PROGRESIVA FIN	OBSERVACION	DESCRIPCION
0+003,7	0+022,753		MARCO DE ACERO, ESPESOR 0.10 m, CADA 1.00 m.

DESCRIPCION DE TUNEL 6

PROGRESIVA INI	PROGRESIVA FIN	OBSERVACION	DESCRIPCION
0+001,30	0+012,112		MARCO DE ACERO, ESPESOR 0.10 m, CADA 1.00 m.



SECCIONES DE TUNEL NIVEL 250
ESCALA: 1/100

LEYENDA	
SIMBOLOGIA	DESCRIPCION
---	TUNEL
---	CUNETA

NOTAS :
 1.- LA ESCALA GRAFICA MOSTRADA ES PARA EL FORMATO A-1, PARA A-3 CONSIDERAR EL DOBLE
 2.- DIMENSIONES EN MILIMETROS Y NIVELES EN METROS, SALVO INDICADO.
 3.- USAR SOLO DIMENSIONES INDICADAS EN LOS PLANOS.



REV. N°	FECHA	DESCRIPCION	REVISO	APROBO
0	10/02/10	EMITIDO PARA CONSTRUCCION	J.G.B.	C.S.S.

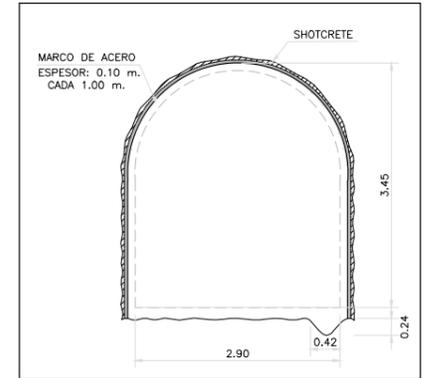
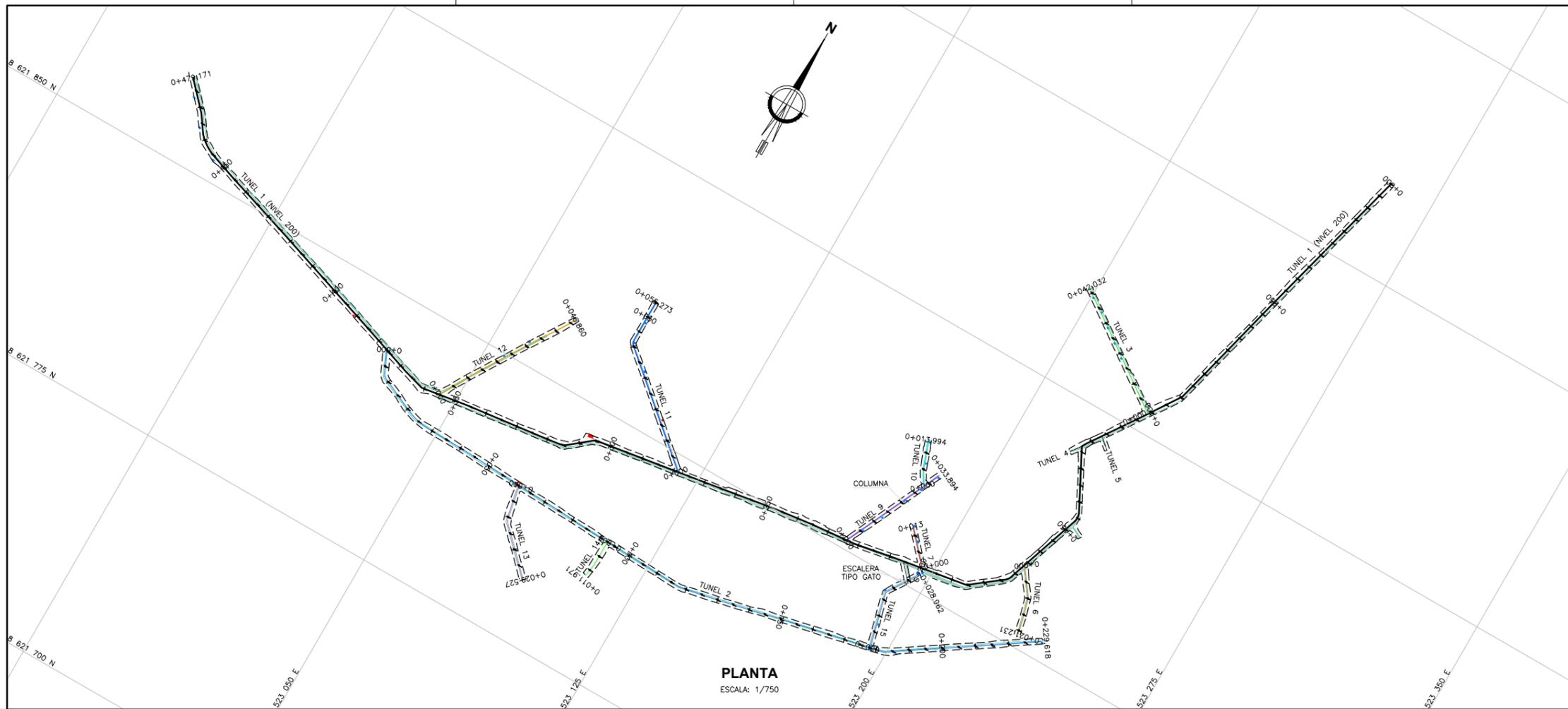


PROYECTO: **"Estudio Definitivo de las Obras de Estabilización Seleccionadas para El Derrumbe - 5"**
 TOPOGRAFIA

TITULO: **DERRUMBE 5 TUNEL NIVEL 250**
 PLANO N°: **CSL-093300-10-002**

ELABORO :	REVISO :	ESCALA :	REV. :
J.C.Q.	J.G.B.	INDICADA	0
DIBUJO : <td>APROBO : <td>FECHA : <td>TRABAJO : </td></td></td>	APROBO : <td>FECHA : <td>TRABAJO : </td></td>	FECHA : <td>TRABAJO : </td>	TRABAJO :
J.E.G.	C.S.S.	FEB. 2010	093300

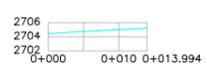




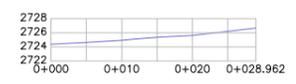
LEYENDA

---	TUNEL
---	CUNETA
■	HITO INCLINOMETRICO
■	HITO DE EXTENSOMETRIA

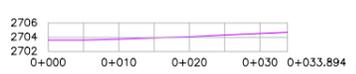
PERFIL - TUNEL 10



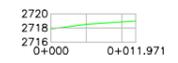
PERFIL - TUNEL 15



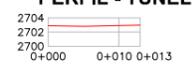
PERFIL - TUNEL 9



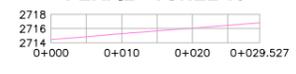
PERFIL - TUNEL 14



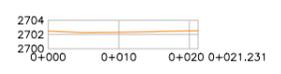
PERFIL - TUNEL 7



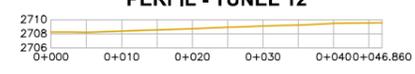
PERFIL - TUNEL 13



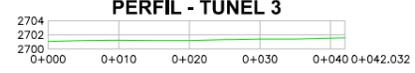
PERFIL - TUNEL 6



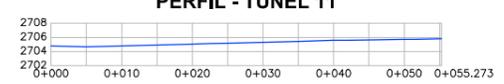
PERFIL - TUNEL 12



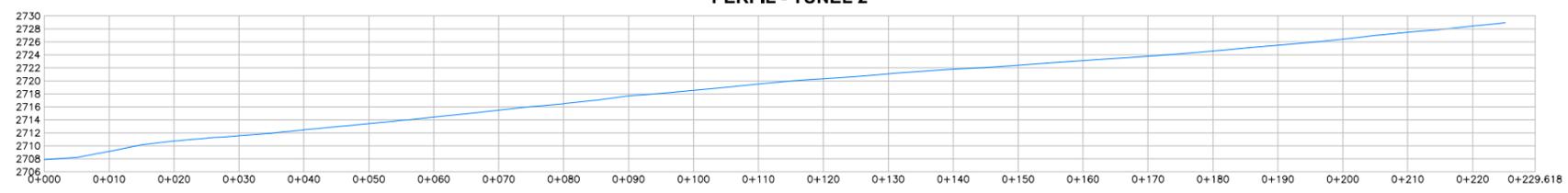
PERFIL - TUNEL 3



PERFIL - TUNEL 11



PERFIL - TUNEL 2



PERFILES LONGITUDINALES
ESCALA: 1/500

- NOTAS :**
- LA ESCALA GRAFICA MOSTRADA ES PARA EL FORMATO A-1, PARA A-3 CONSIDERAR EL DOBLE
 - DIMENSIONES EN MILIMETROS Y NIVELES EN METROS, SALVO INDICADO.
 - USAR SOLO DIMENSIONES INDICADAS EN LOS PLANOS.

1:750	0	15	30	45	60	75	m.
1:500	0	10	20	30	40	50	m.

0	10/02/10	EMITIDO PARA CONSTRUCCIÓN	J.G.B.	C.S.S.
REV. N°	FECHA	DESCRIPCION	REVISO	APROBO



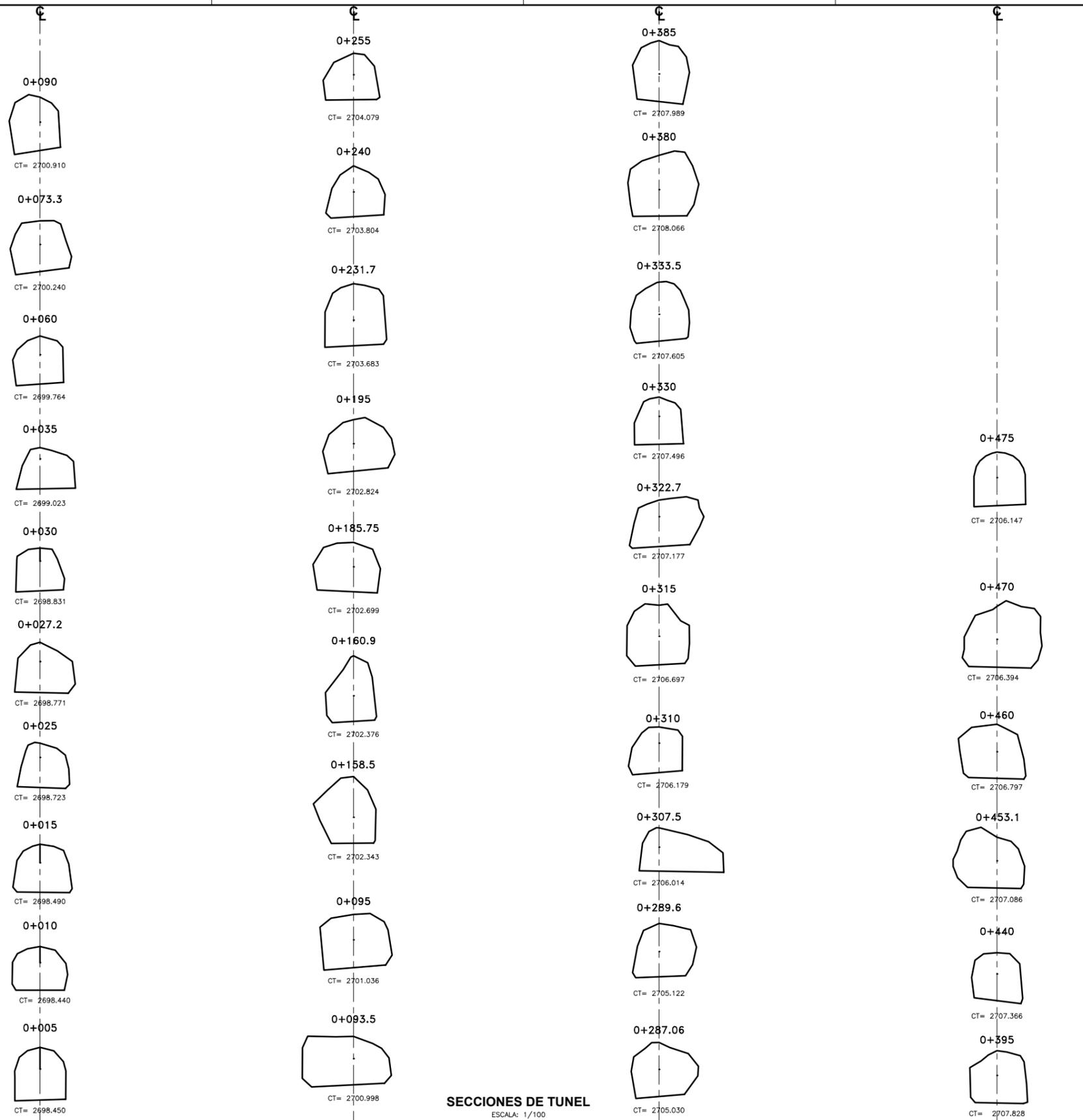
PROYECTO: **"Estudio Definitivo de las Obras de Estabilización Seleccionadas para El Derrumbe - 5"**

TITULO: **TOPOGRAFIA**

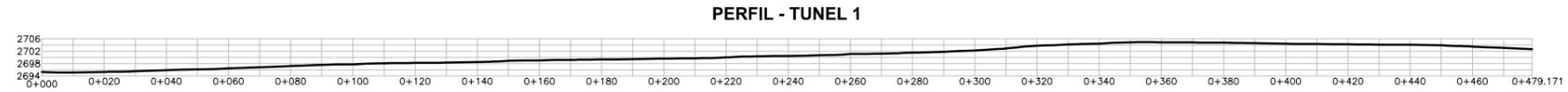
DERRUMBE 5
TUNEL NIVEL 200
PLANTA GENERAL - PERFILES LONGITUDINALES

PLANO N°: CSL-093300-TO-003
1/3

CESEL INGENIEROS	ELABORO : J.C.Q. DIBUJO : J.E.G.	REVISO : J.G.B. APROBO : C.S.S.	ESCALA : INDICADA FECHA : FEB. 2010	REV. : 0 TRABAJO : 093300
----------------------------	-------------------------------------	------------------------------------	--	------------------------------



SECCIONES DE TUNEL
ESCALA: 1/100



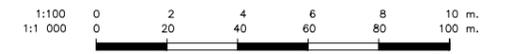
PERFIL LONGITUDINAL
ESCALA: 1/1000

DESCRIPCION DE TUNEL 1 (NIVEL 200)

PROGRESIVA INI	PROGRESIVA FIN	OBSERVACION	DESCRIPCION
0+000	0+008		REVESTIDO CON CONCRETO PULIDO
0+118,7	0+120,85		MARCO DE ACERO, ESPESOR 0.10 m, CADA 1.00 m.
0+120,85	0+127,30		MARCO DE ACERO, ESPESOR 0.10 m, CADA 1.00 m.
0+149,3	0+153,5		MARCO DE ACERO, ESPESOR 0.10 m, CADA 1.00 m.
0+156,1	0+158,25		MARCO DE ACERO, ESPESOR 0.10 m, CADA 1.00 m.
0+161,25	0+163,35		MARCO DE ACERO, ESPESOR 0.10 m, CADA 1.00 m.
0+163,35	0+171,2		REVESTIDO CON CONCRETO PULIDO
0+171,2	0+176,05		MARCO DE ACERO, ESPESOR 0.10 m, CADA 1.00 m.
0+195,25	0+198,32		MARCO DE ACERO, ESPESOR 0.10 m, CADA 1.00 m.
0+208,65	0+221,9		MARCO DE ACERO, ESPESOR 0.10 m, CADA 1.00 m.
0+224	0+230,05		MARCO DE ACERO, ESPESOR 0.10 m, CADA 1.00 m.
0+264,40	0+268,4		MARCO DE ACERO, ESPESOR 0.10 m, CADA 1.00 m.
0+269,50	0+272,50		MARCO DE ACERO, ESPESOR 0.10 m, CADA 1.00 m.
0+274,40	0+278,40		MARCO DE ACERO, ESPESOR 0.10 m, CADA 1.00 m.
0+281,50	0+286,5		MARCO DE ACERO, ESPESOR 0.10 m, CADA 1.00 m.
0+290	0+294		MARCO DE ACERO, ESPESOR 0.10 m, CADA 1.00 m.
0+350,60	0+358		REVESTIDO CON CONCRETO PULIDO
0+315		LADO IZQUIERDO A 1,20	CAIDA DE AGUA

NOTAS :

- LA ESCALA GRAFICA MOSTRADA ES PARA EL FORMATO A-1, PARA A-3 CONSIDERAR EL DOBLE
- DIMENSIONES EN MILIMETROS Y NIVELES EN METROS, SALVO INDICADO.
- USAR SOLO DIMENSIONES INDICADAS EN LOS PLANOS.



REV. N°	FECHA	DESCRIPCION	REVISO	APROBO
0	10/02/10	EMITIDO PARA CONSTRUCCIÓN	J.G.B.	C.S.S.



PROYECTO: "Estudio Definitivo de las Obras de Estabilización Seleccionadas para El Derrumbe - 5"
TOPOGRAFIA

TITULO: DERRUMBE 5 TUNEL NIVEL 200 PERFIL 1 - SECCIONES TUNEL
PLANO N°: CSL-093300-T0-003 2/3

ELABORO : J.C.Q.	REVISO : J.G.B.	ESCALA : INDICADA	REV. : 0
DIBUJO : J.E.G.	APROBO : C.S.S.	FECHA : FEB. 2 010	TRABAJO : 093300

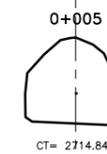
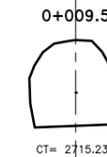
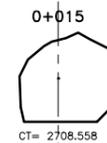
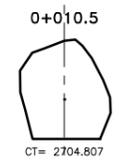
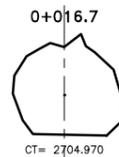
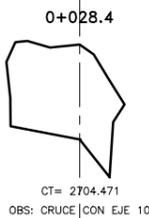
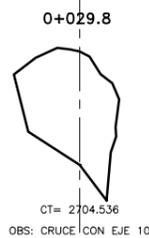
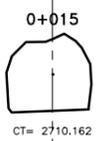
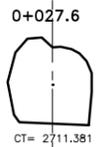
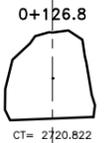
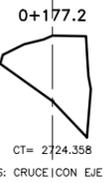
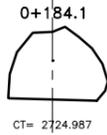
EJE TUNEL 2

EJE TUNEL 9

EJE TUNEL 11

EJE TUNEL 12

EJE TUNEL 13



DESCRIPCION DE TUNEL 2 (NIVEL 200)

PROGRESIVA INI	PROGRESIVA FIN	OBSERVACION	DESCRIPCION
0+078	0+083,50		MARCO DE ACERO, ESPESOR 0.10 m, CADA 1.00 m.
0+083,50	0+089,30		REVESTIDO CON CONCRETO PULIDO
0+089,30	0+124,80		MARCO DE ACERO, ESPESOR 0.10 m, CADA 1.00 m.
0+149,80	0+156,80		MARCO DE ACERO, ESPESOR 0.10 m, CADA 1.00 m.
0+171,80	0+176,80		MARCO DE ACERO, ESPESOR 0.10 m, CADA 1.00 m.
0+179	0+180		MARCO DE ACERO, ESPESOR 0.10 m, CADA 1.00 m.
0+185,50	0+206,50		MARCO DE ACERO, ESPESOR 0.10 m, CADA 1.00 m.
0+221	0+229,618		MARCO DE ACERO, ESPESOR 0.10 m, CADA 1.00 m.

DESCRIPCION DE TUNEL 4 (NIVEL 200)

PROGRESIVA INI	PROGRESIVA FIN	OBSERVACION	DESCRIPCION
0+000	0+003,876		REVESTIDO CON CONCRETO PULIDO

DESCRIPCION DE TUNEL 6 (NIVEL 200)

PROGRESIVA INI	PROGRESIVA FIN	OBSERVACION	DESCRIPCION
0+001,4	0+003,10		REVESTIDO CON CONCRETO PULIDO
0+003,1	0+021,23		MARCO DE ACERO, ESPESOR 0.10 m, CADA 1.00 m.

DESCRIPCION DE TUNEL 7 (NIVEL 200)

PROGRESIVA INI	PROGRESIVA FIN	OBSERVACION	DESCRIPCION
0+001,9	0+012,997		MARCO DE ACERO, ESPESOR 0.10 m, CADA 1.00 m.

DESCRIPCION DE TUNEL 8 (NIVEL 200)

PROGRESIVA INI	PROGRESIVA FIN	OBSERVACION	DESCRIPCION
0+001	0+005,35		REVESTIDO CON CONCRETO PULIDO

DESCRIPCION DE TUNEL 9 (NIVEL 200)

PROGRESIVA INI	PROGRESIVA FIN	OBSERVACION	DESCRIPCION
0+002,2	0+033,894		MARCO DE ACERO, ESPESOR 0.10 m, CADA 1.00 m.

DESCRIPCION DE TUNEL 10 (NIVEL 200)

PROGRESIVA INI	PROGRESIVA FIN	OBSERVACION	DESCRIPCION
0+000,75	0+007,75		MARCO DE ACERO, ESPESOR 0.10 m, CADA 1.00 m.
0+007,75	0+011,724		REVESTIDO CON CONCRETO PULIDO
0+011,724	0+013,994		MARCO DE ACERO, ESPESOR 0.10 m, CADA 1.00 m.

DESCRIPCION DE TUNEL 11 (NIVEL 200)

PROGRESIVA INI	PROGRESIVA FIN	OBSERVACION	DESCRIPCION
0+002,55	0+005,55		MARCO DE ACERO, ESPESOR 0.10 m, CADA 1.00 m.
0+017,05	0+040,10		REVESTIDO CON CONCRETO PULIDO
0+041,50	0+054,65		MARCO DE ACERO, ESPESOR 0.10 m, CADA 1.00 m.

DESCRIPCION DE TUNEL 12 (NIVEL 200)

PROGRESIVA INI	PROGRESIVA FIN	OBSERVACION	DESCRIPCION
0+002,7	0+007,7		MARCO DE ACERO, ESPESOR 0.10 m, CADA 1.00 m.
0+017,8	0+019,8		MARCO DE ACERO, ESPESOR 0.10 m, CADA 1.00 m.
0+025,8	0+026,8		MARCO DE ACERO, ESPESOR 0.10 m, CADA 1.00 m.
0+026,8	0+046,86		MARCO DE ACERO, ESPESOR 0.10 m, CADA 1.00 m.

DESCRIPCION DE TUNEL 13 (NIVEL 200)

PROGRESIVA INI	PROGRESIVA FIN	OBSERVACION	DESCRIPCION
0+001,80	0+004,80		MARCO DE ACERO, ESPESOR 0.10 m, CADA 1.00 m.
0+010,50	0+029,527		MARCO DE ACERO, ESPESOR 0.10 m, CADA 1.00 m.

DESCRIPCION DE TUNEL 14 (NIVEL 200)

PROGRESIVA INI	PROGRESIVA FIN	OBSERVACION	DESCRIPCION
0+000	0+011,971		SIN REVESTIR

DESCRIPCION DE TUNEL 15 (NIVEL 200)

PROGRESIVA INI	PROGRESIVA FIN	OBSERVACION	DESCRIPCION
0+001,80	0+028,962		MARCO DE ACERO, ESPESOR 0.10 m, CADA 1.00 m.

NOTAS :

- 1.- LA ESCALA GRAFICA MOSTRADA ES PARA EL FORMATO A-1, PARA A-3 CONSIDERAR EL DOBLE
- 2.- DIMENSIONES EN MILIMETROS Y NIVELES EN METROS, SALVO INDICADO.
- 3.- USAR SOLO DIMENSIONES INDICADAS EN LOS PLANOS.



REV. N°	FECHA	DESCRIPCION	REVISO	APROBO
0	10/02/10	EMITIDO PARA CONSTRUCCIÓN	J.G.B.	C.S.S.



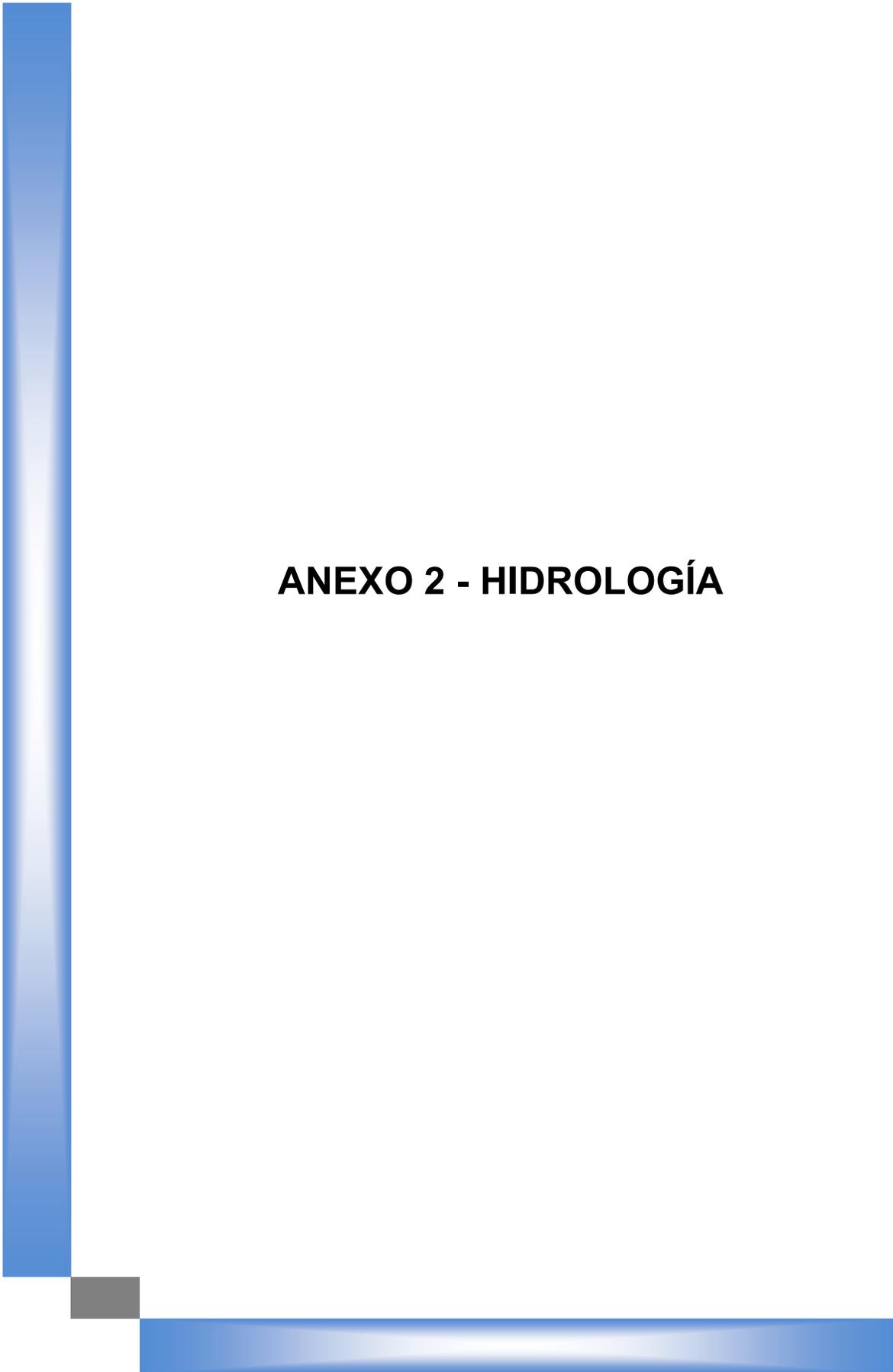
PROYECTO: "Estudio Definitivo de las Obras de Estabilización Seleccionadas para El Derrumbe - 5"

TOPOGRAFIA

TITULO: **DERRUMBE 5 TUNEL NIVEL 200 SECCIONES TUNEL**

PLANO N°: **CSL-093300-TO-003 3/3**

CESEL INGENIEROS	ELABORO : J.C.Q. DIBUJO : J.E.G.	REVISO : J.G.B. APROBO : C.S.S.	ESCALA : 1:100 FECHA : FEB. 2010	REV. : 0 TRABAJO : 093300
----------------------------	-------------------------------------	------------------------------------	-------------------------------------	------------------------------

A decorative graphic element consisting of a thick blue L-shaped bar. The vertical bar is on the left side, and the horizontal bar is at the bottom. A small grey square is located at the corner where the two bars meet.

ANEXO 2 - HIDROLOGÍA

DESARROLLO

REFERENCIA

**DATOS DE PRECIPITACIÓN MÁXIMA EN 24 HORAS
ZONA DE DERRUMBE 5**

Nº	AÑO	ORDEN	P24	log(P24)
1	1964	12	31.0	1.4914
2	1965	24	26.0	1.4150
3	1966	25	26.0	1.4150
4	1967	31	23.0	1.3617
5	1968	35	21.0	1.3222
6	1969	14	30.0	1.4771
7	1970	15	30.0	1.4771
8	1971	39	19.0	1.2788
9	1972	41	15.0	1.1761
10	1973	20	29.0	1.4624
11	1974	1	98.0	1.9912
12	1975	3	64.0	1.8062
13	1976	16	30.0	1.4771
14	1977	11	32.0	1.5051
15	1978	6	40.0	1.6021
16	1979	2	66.0	1.8195
17	1980	9	34.0	1.5315
18	1981	5	42.0	1.6232
19	1982	37	20.0	1.3010
20	1983	32	23.0	1.3617
21	1984	26	26.0	1.4150
22	1985	21	28.0	1.4472
23	1986	29	24.0	1.3802
24	1987	38	20.0	1.3010
25	1988	17	30.0	1.4771
26	1989	10	34.0	1.5315
27	1990	4	55.0	1.7404
28	1991	18	30.0	1.4771
29	1992	33	23.0	1.3617
30	1993	8	35.0	1.5441
31	1994	34	22.0	1.3424
32	1995	36	21.0	1.3222
33	1996	27	26.0	1.4150
34	1997	40	17.0	1.2304
35	1998	22	27.0	1.4314
36	1999	13	31.0	1.4914
37	2000	7	38.0	1.5798
38	2001	19	30.0	1.4771
39	2003	28	25.0	1.3979
40	2004	30	24.0	1.3802
41	2005	23	27.0	1.4314

Numero de datos n	41	41
Suma Σ	1292.0	60.0700
Maximo	98.0	1.9912
Minimo	15.0	1.1761
Promedio \bar{x}	31.5	1.4651
Desviacion estándar s	15.2071	0.1595
Coficiente asimetria C_s	2.7251	1.2601
Cs/6 k	0.4542	0.2100

PRUEBA DE DATOS DUDOSOS

$$n = 41$$

$$Kn = 2.768 *$$

Umbral de datos dudosos altos

$$y_H = \bar{y} + Kn \cdot s$$

$$y_H = 1.9065$$

$$QH = 80.6$$

Umbral de datos dudosos bajos

$$y_L = \bar{y} - Kn \cdot s$$

$$y_L = 1.0238$$

$$QL = 10.6$$

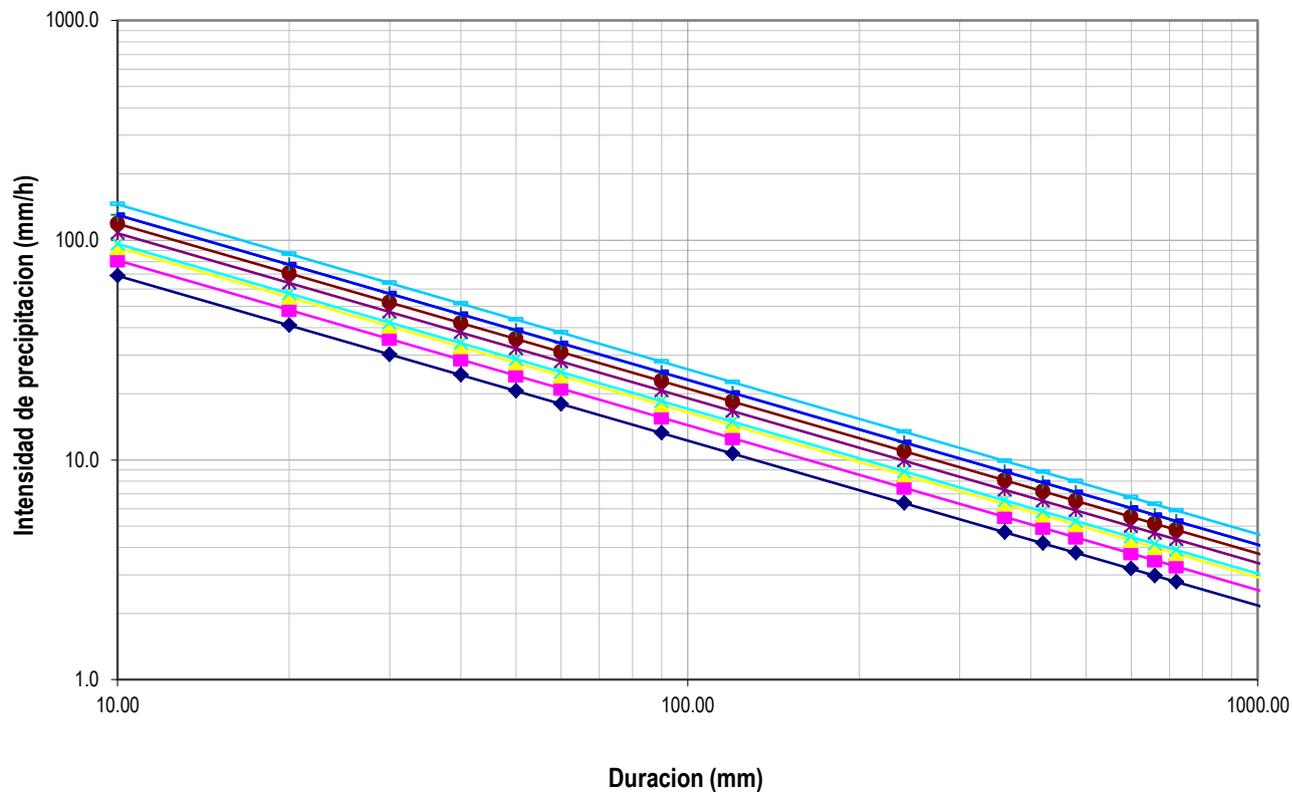
* Tabla 12.5.3 -
Hidrologia Aplicada, Ven
Te Chow

FUENTE: Evaluación Geotécnica Estática y Dinámica del Derrumbe 5 del Estudio Integral Embalse Tablachaca del Consorcio INGETEC-SVS (2006)

"MODELACIÓN NUMÉRICA CON FEFLOW+FMH3 PARA EL ESTUDIO DEFINITIVO DE LAS GALERÍAS DE DRENAJE: CASO DERRUMBE 5 – COMPLEJO HIDROELÉCTRICO DEL MANTARO"									Tesis de Maestría	
Cálculo Hidrológico									Fecha: 10/10/2014	
DESARROLLO									REFERENCIA	
INTENSIDADES DE DISEÑO PARA DURACIONES MENORES A 24 HORAS										
ZONA DE DERRUMBE 5										
DURACION		PERIODO DE RETORNO								
Hr	min	5	10	20	25	50	100	200	300	500
0.17	10.00	68.8	80.9	92.5	96.1	107.4	118.7	130.1	130.1	145.4
0.33	20.00	40.9	48.1	55.0	57.2	63.9	70.6	77.4	77.4	86.5
0.50	30.00	30.2	35.5	40.6	42.2	47.1	52.1	57.1	57.1	63.8
0.67	40.00	24.3	28.6	32.7	34.0	38.0	42.0	46.0	46.0	51.4
0.83	50.00	20.6	24.2	27.7	28.7	32.1	35.5	38.9	38.9	43.5
1.00	60.00	18.0	21.1	24.1	25.1	28.0	31.0	33.9	33.9	37.9
1.50	90.00	13.2	15.6	17.8	18.5	20.7	22.9	25.0	25.0	28.0
2.00	120.00	10.7	12.6	14.3	14.9	16.7	18.4	20.2	20.2	22.6
4.00	240.00	6.3	7.5	8.5	8.9	9.9	11.0	12.0	12.0	13.4
6.00	360.00	4.7	5.5	6.3	6.5	7.3	8.1	8.9	8.9	9.9
7.00	420.00	4.2	4.9	5.6	5.8	6.5	7.2	7.9	7.9	8.8
8.00	480.00	3.8	4.4	5.1	5.3	5.9	6.5	7.1	7.1	8.0
10.00	600.00	3.2	3.8	4.3	4.5	5.0	5.5	6.0	6.0	6.7
11.00	660.00	3.0	3.5	4.0	4.2	4.6	5.1	5.6	5.6	6.3
12.00	720.00	2.8	3.3	3.7	3.9	4.3	4.8	5.3	5.3	5.9
24.00	1440.00	1.7	1.9	2.2	2.3	2.6	2.9	3.1	3.1	3.5

h: 3322.00 m.s.n.m.

CURVA INTENSIDAD-DURACION-FRECUENCIA



CURVA INTENSIDAD-DURACION-FRECUENCIA

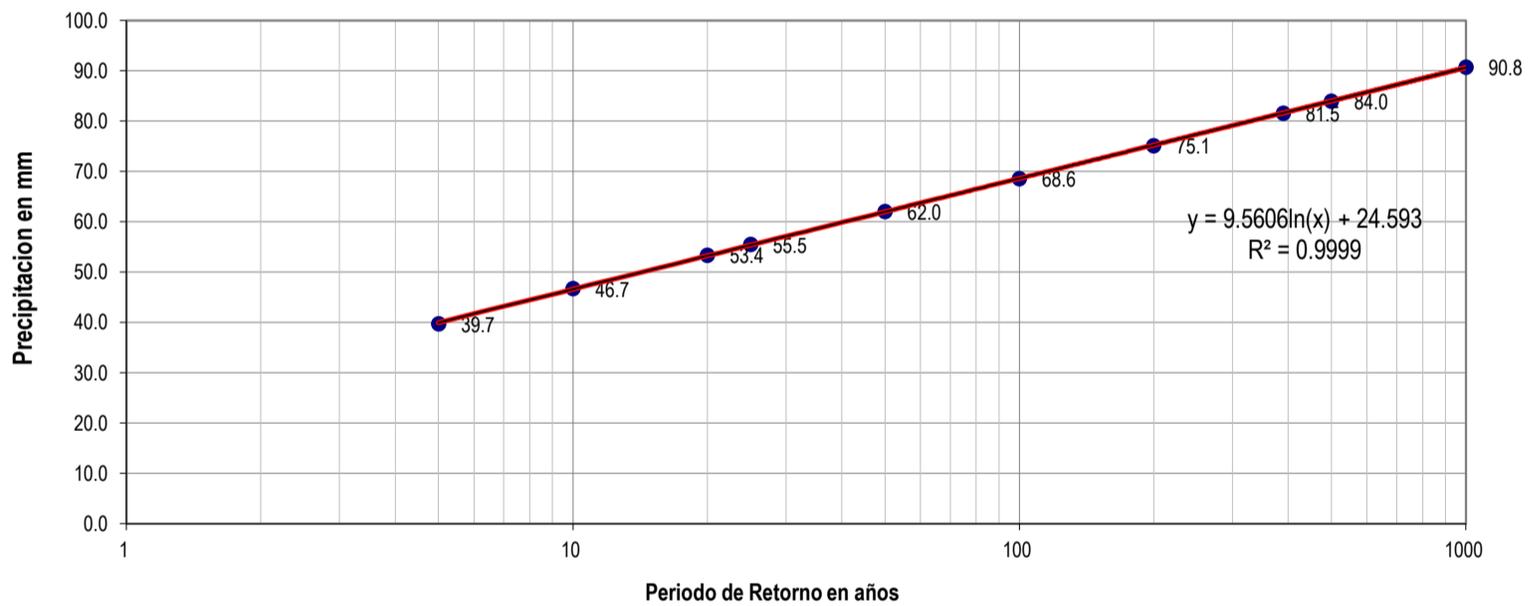
I: Intensidad máxima (mm/h)
T: Período de retorno en años
t: Duración de la precipitación (min)

$$I = \frac{10^{2.505} T^{0.154}}{t^{0.75}}$$

"MODELACIÓN NUMÉRICA CON FEFLOW+FMH3 PARA EL ESTUDIO DEFINITIVO DE LAS GALERÍAS DE DRENAJE: CASO DERRUMBE 5 – COMPLEJO HIDROELÉCTRICO DEL MANTARO"									Tesis de Maestría	
Cálculo Hidrológico									Fecha: 10/10/2014	
DESARROLLO									REFERENCIA	
PRECIPITACION DE DISEÑO PARA DURACIONES MENORES A 24 HORAS										
ZONA DE DERRUMBE 5										
DURACION		PERIODO DE RETORNO								
Hr	min	5	10	20	25	50	100	200	300	500
0.17	10.00	11.5	13.5	15.4	16.0	17.9	19.8	21.7	21.7	24.2
0.33	20.00	13.6	16.0	18.3	19.1	21.3	23.5	25.8	25.8	28.8
0.50	30.00	15.1	17.7	20.3	21.1	23.6	26.0	28.5	28.5	31.9
0.67	40.00	16.2	19.1	21.8	22.7	25.3	28.0	30.7	30.7	34.3
0.83	50.00	17.2	20.2	23.0	24.0	26.8	29.6	32.4	32.4	36.2
1.00	60.00	18.0	21.1	24.1	25.1	28.0	31.0	33.9	33.9	37.9
1.50	90.00	19.9	23.4	26.7	27.7	31.0	34.3	37.6	37.6	42.0
2.00	120.00	21.4	25.1	28.7	29.8	33.3	36.8	40.4	40.4	45.1
4.00	240.00	25.4	29.8	34.1	35.5	39.6	43.8	48.0	48.0	53.6
6.00	360.00	28.1	33.0	37.7	39.2	43.9	48.5	53.1	53.1	59.4
7.00	420.00	29.2	34.3	39.2	40.8	45.6	50.4	55.2	55.2	61.7
8.00	480.00	30.2	35.5	40.6	42.2	47.1	52.1	57.1	57.1	63.8
10.00	600.00	31.9	37.5	42.9	44.6	49.8	55.1	60.4	60.4	67.5
11.00	660.00	32.7	38.4	43.9	45.7	51.0	56.4	61.8	61.8	69.1
12.00	720.00	33.4	39.3	44.9	46.7	52.2	57.7	63.2	63.2	70.6
24.00	1440.00	39.7	46.7	53.4	55.5	62.0	68.6	75.1	75.1	84.0

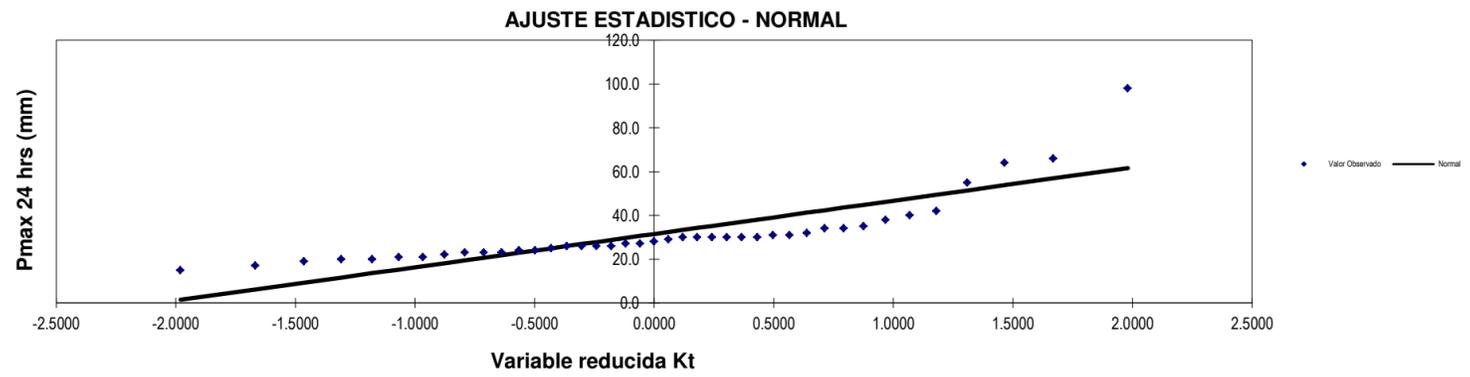
"MODELACIÓN NUMÉRICA CON FEFLOW+FMH3 PARA EL ESTUDIO DEFINITIVO DE LAS GALERÍAS DE DRENAJE: CASO DERRUMBE 5 – COMPLEJO HIDROELÉCTRICO DEL MANTARO"													Tesis de Maestría	
Cálculo Hidrológico													Fecha: 10/10/14	
DESARROLLO													REFERENCIA	
PRECIPITACIONES MAXIMAS ANUALES EN 24 HORAS														
ZONA DE DERRUMBE 5														
Promedio : x = 31.5122 y = 1.4651														
Desviacion estándar : s = 15.2071 sy = 0.1595														
Cs/6 : k = 0.4542 k = 0.2100														
Tr (años)	P(X≤x _T)	DISTRIB. NORMAL		DISTRIB. GUMBELL		DISTRIB. LOGNORMAL			DISTRIB. PEARSON III		DISTRIB. LOG PEARSON III			P _{MAX} mm
		K _T	x _T	K _T	x _T	K _T	x _T	10 ^{x_T}	K _T	x _T	K _T	X _t	10 ^{x_T}	
5	0.800	0.8416	44.3	0.7195	42.5	0.84	1.5993	39.7	0.4725	38.7	0.7194	1.5798	38.0	39.7
10	0.900	1.2816	51.0	1.3046	51.4	1.28	1.6695	46.7	1.1901	49.6	1.3310	1.6774	47.6	46.7
20	0.950	1.6449	56.5	1.8658	59.9	1.64	1.7274	53.4	1.9635	61.4	1.9109	1.7698	58.9	53.4
25	0.960	1.7507	58.1	2.0438	62.6	1.75	1.7443	55.5	2.2227	65.3	2.0932	1.7989	62.9	55.5
50	0.980	2.0537	62.7	2.5923	70.9	2.05	1.7926	62.0	3.0559	78.0	2.6501	1.8877	77.2	62.0
100	0.990	2.3263	66.9	3.1367	79.2	2.33	1.8361	68.6	3.9282	91.2	3.1966	1.9748	94.4	68.6
200	0.995	2.5758	70.7	3.6791	87.5	2.58	1.8758	75.1	4.8357	105.0	3.7363	2.0609	115.1	75.1
390	0.997	2.7989	74.1	4.2007	95.4	2.80	1.9114	81.5	5.7408	118.8	4.2518	2.1431	139.0	81.5
500	0.998	2.8782	75.3	4.3947	98.3	2.88	1.9241	84.0	6.0848	124.0	4.4428	2.1736	149.1	84.0
1000	0.999	3.0902	78.5	4.9355	106.6	3.09	1.9579	90.8	7.0644	138.9	4.9740	2.2583	181.2	90.8
190	0.995	2.5580	70.4	3.6390	86.9	2.56	1.8730	74.6	4.7674	104.0	3.6965	2.0545	113.4	74.6

PRECIPITACION MAXIMA ANUAL PARA DIFERENTES PERIODOS DE RETORNO

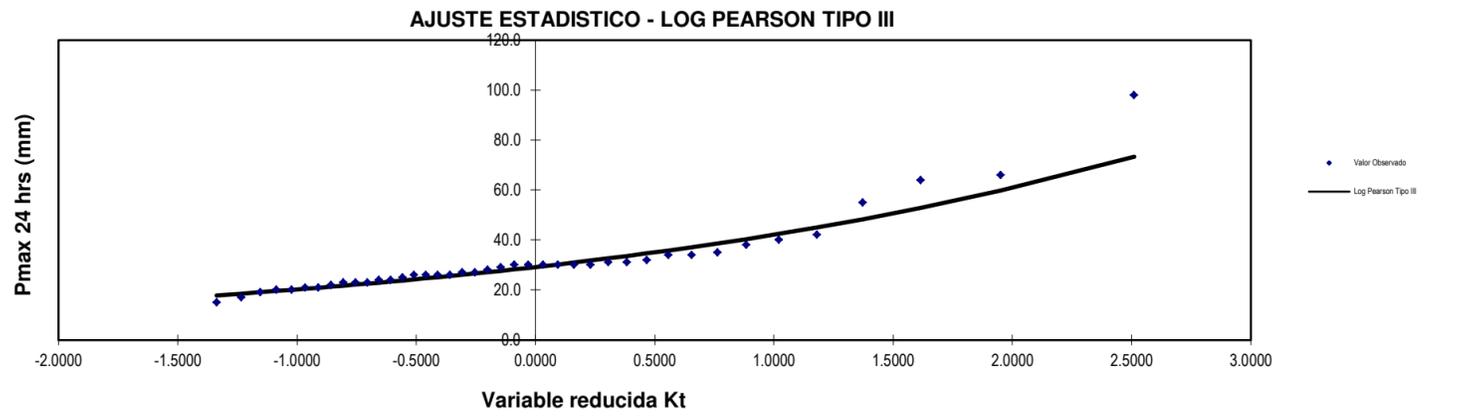
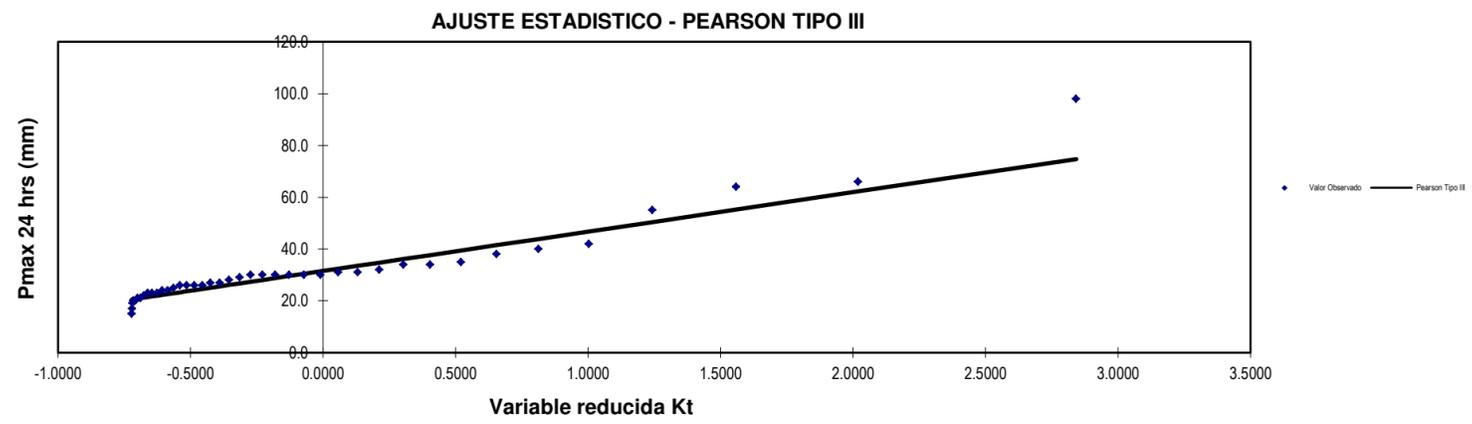
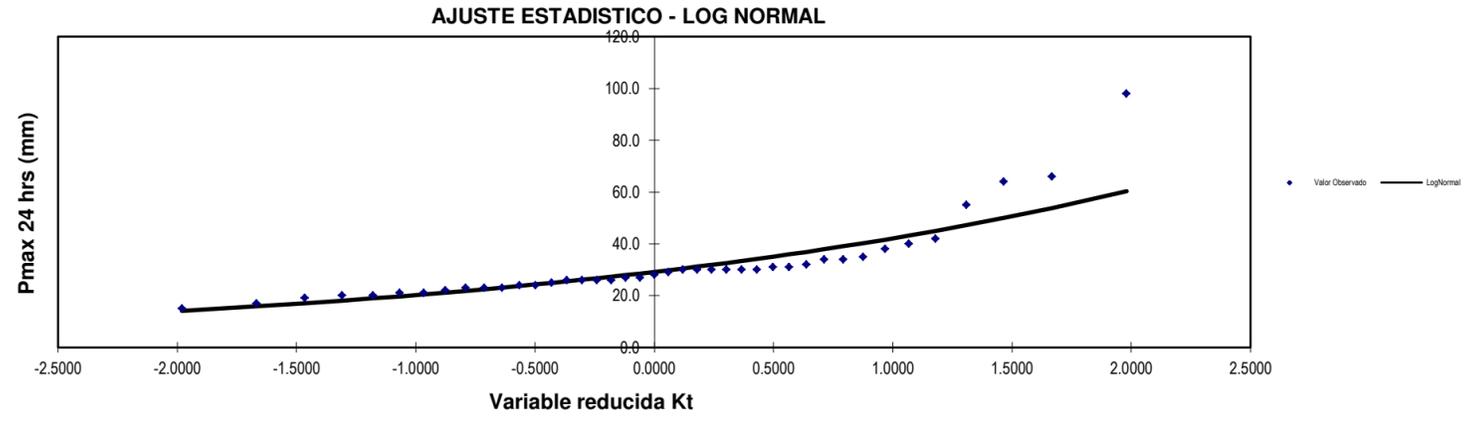
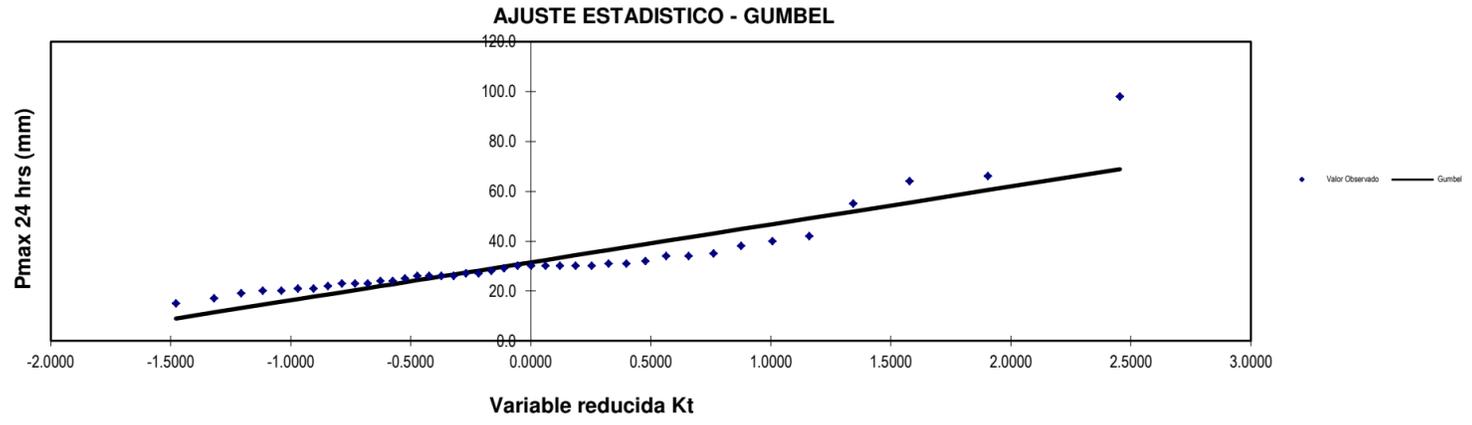


"MODELACIÓN NUMÉRICA CON FEFLOW+FMH3 PARA EL ESTUDIO DEFINITIVO DE LAS GALERÍAS DE DRENAJE: CASO DERRUMBE 5 – COMPLEJO HIDROELÉCTRICO DEL MANTARO"		Tesis de Maestría																		
Cálculo Hidrológico		Fecha: 10/10/14																		
DESARROLLO		REFERENCIA																		
PRUEBA DE LA BONDAD DEL AJUSTE - GRAFICA DE PROBABILIDADES ZONA DE DERRUMBE 5																				
<table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <thead> <tr> <th></th> <th>P24</th> <th>log(P24)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Numero de datos: n</td> <td>41</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Promedio: x</td> <td>31.51</td> <td>1.47</td> </tr> <tr> <td>Desviacion estándar: s</td> <td>15.21</td> <td>0.16</td> </tr> <tr> <td>Coficiente asimetria: Cs</td> <td>2.73</td> <td>1.26</td> </tr> <tr> <td>Cs/6: k</td> <td>0.45</td> <td>0.21</td> </tr> </tbody> </table>				P24	log(P24)	Numero de datos: n	41		Promedio: x	31.51	1.47	Desviacion estándar: s	15.21	0.16	Coficiente asimetria: Cs	2.73	1.26	Cs/6: k	0.45	0.21
	P24	log(P24)																		
Numero de datos: n	41																			
Promedio: x	31.51	1.47																		
Desviacion estándar: s	15.21	0.16																		
Coficiente asimetria: Cs	2.73	1.26																		
Cs/6: k	0.45	0.21																		

ZONA DE DERRUMBE 5														
N	T	P(X≤xT)	VALOR OBSERVADO		NORMAL		GUMBELL		LOGNORMAL		PEARSON III		LOGPEARSON III	
			P24	log(P24)	K _T	ESPERADO								
1	42.00	2.38%	98.0	1.9912	1.9808	61.6	2.4548	68.8	1.9808	60.4	2.8425	74.7	2.5112	73.4
2	21.00	4.76%	66.0	1.8195	1.6684	56.9	1.9048	60.5	1.6684	53.8	2.0198	62.2	1.9509	59.7
3	14.00	7.14%	64.0	1.8062	1.4652	53.8	1.5789	55.5	1.4652	50.0	1.5593	55.2	1.6155	52.8
4	10.50	9.52%	55.0	1.7404	1.3092	51.4	1.3446	52.0	1.3092	47.2	1.2429	50.4	1.3727	48.3
5	8.40	11.90%	42.0	1.6232	1.1798	49.5	1.1604	49.2	1.1798	45.0	1.0038	46.8	1.1809	45.0
6	7.00	14.29%	40.0	1.6021	1.0676	47.7	1.0079	46.8	1.0676	43.2	0.8130	43.9	1.0215	42.5
7	6.00	16.67%	38.0	1.5798	0.9674	46.2	0.8770	44.8	0.9674	41.6	0.6551	41.5	0.8845	40.4
8	5.25	19.05%	35.0	1.5441	0.8761	44.8	0.7619	43.1	0.8761	40.3	0.5209	39.4	0.7639	38.6
9	4.67	21.43%	34.0	1.5315	0.7916	43.6	0.6589	41.5	0.7916	39.0	0.4047	37.7	0.6558	37.1
10	4.20	23.81%	34.0	1.5315	0.7124	42.3	0.5653	40.1	0.7124	37.9	0.3026	36.1	0.5576	35.8
11	3.82	26.19%	32.0	1.5051	0.6375	41.2	0.4792	38.8	0.6375	36.9	0.2119	34.7	0.4673	34.6
12	3.50	28.57%	31.0	1.4914	0.5659	40.1	0.3992	37.6	0.5659	35.9	0.1304	33.5	0.3835	33.6
13	3.23	30.95%	31.0	1.4914	0.4972	39.1	0.3244	36.4	0.4972	35.0	0.0568	32.4	0.3051	32.6
14	3.00	33.33%	30.0	1.4771	0.4307	38.1	0.2538	35.4	0.4307	34.2	-0.0103	31.4	0.2314	31.8
15	2.80	35.71%	30.0	1.4771	0.3661	37.1	0.1868	34.4	0.3661	33.4	-0.0717	30.4	0.1615	31.0
16	2.63	38.10%	30.0	1.4771	0.3030	36.1	0.1229	33.4	0.3030	32.6	-0.1282	29.6	0.0951	30.2
17	2.47	40.48%	30.0	1.4771	0.2410	35.2	0.0616	32.4	0.2410	31.9	-0.1803	28.8	0.0315	29.5
18	2.33	42.86%	30.0	1.4771	0.1800	34.2	0.0026	31.6	0.1800	31.2	-0.2286	28.0	-0.0295	28.9
19	2.21	45.24%	30.0	1.4771	0.1196	33.3	-0.0546	30.7	0.1196	30.5	-0.2734	27.4	-0.0884	28.3
20	2.10	47.62%	29.0	1.4624	0.0597	32.4	-0.1101	29.8	0.0597	29.8	-0.3151	26.7	-0.1453	27.7
21	2.00	50.00%	28.0	1.4472	0.0000	31.5	-0.1643	29.0	0.0000	29.2	-0.3540	26.1	-0.2006	27.1
22	1.91	52.38%	27.0	1.4314	-0.0597	30.6	-0.2173	28.2	-0.0597	28.5	-0.3904	25.6	-0.2545	26.6
23	1.83	54.76%	27.0	1.4314	-0.1196	29.7	-0.2694	27.4	-0.1196	27.9	-0.4244	25.1	-0.3071	26.1
24	1.75	57.14%	26.0	1.4150	-0.1800	28.8	-0.3208	26.6	-0.1800	27.3	-0.4562	24.6	-0.3587	25.6
25	1.68	59.52%	26.0	1.4150	-0.2410	27.8	-0.3717	25.9	-0.2410	26.7	-0.4859	24.1	-0.4094	25.1
26	1.62	61.90%	26.0	1.4150	-0.3030	26.9	-0.4223	25.1	-0.3030	26.1	-0.5137	23.7	-0.4594	24.7
27	1.56	64.29%	26.0	1.4150	-0.3661	25.9	-0.4728	24.3	-0.3661	25.5	-0.5398	23.3	-0.5090	24.2
28	1.50	66.67%	25.0	1.3979	-0.4307	25.0	-0.5234	23.6	-0.4307	24.9	-0.5640	22.9	-0.5581	23.8
29	1.45	69.05%	24.0	1.3802	-0.4972	24.0	-0.5743	22.8	-0.4972	24.3	-0.5866	22.6	-0.6071	23.4
30	1.40	71.43%	24.0	1.3802	-0.5659	22.9	-0.6257	22.0	-0.5659	23.7	-0.6076	22.3	-0.6561	22.9
31	1.35	73.81%	23.0	1.3617	-0.6375	21.8	-0.6781	21.2	-0.6375	23.1	-0.6270	22.0	-0.7053	22.5
32	1.31	76.19%	23.0	1.3617	-0.7124	20.7	-0.7317	20.4	-0.7124	22.5	-0.6448	21.7	-0.7550	22.1
33	1.27	78.57%	23.0	1.3617	-0.7916	19.5	-0.7869	19.5	-0.7916	21.8	-0.6610	21.5	-0.8054	21.7
34	1.24	80.95%	22.0	1.3424	-0.8761	18.2	-0.8444	18.7	-0.8761	21.2	-0.6755	21.2	-0.8570	21.3
35	1.20	83.33%	21.0	1.3222	-0.9674	16.8	-0.9048	17.8	-0.9674	20.5	-0.6884	21.0	-0.9100	20.9
36	1.17	85.71%	21.0	1.3222	-1.0676	15.3	-0.9691	16.8	-1.0676	19.7	-0.6994	20.9	-0.9652	20.5
37	1.14	88.10%	20.0	1.3010	-1.1798	13.6	-1.0389	15.7	-1.1798	18.9	-0.7085	20.7	-1.0233	20.0
38	1.11	90.48%	20.0	1.3010	-1.3092	11.6	-1.1167	14.5	-1.3092	18.0	-0.7152	20.6	-1.0858	19.6
39	1.08	92.86%	19.0	1.2788	-1.4652	9.2	-1.2067	13.2	-1.4652	17.0	-0.7195	20.6	-1.1547	19.1
40	1.05	95.24%	17.0	1.2304	-1.6684	6.1	-1.3181	11.5	-1.6684	15.8	-0.7210	20.5	-1.2345	18.5
41	1.02	97.62%	15.0	1.1761	-1.9808	1.4	-1.4780	9.0	-1.9808	14.1	-0.7219	20.5	-1.3371	17.9



"MODELACIÓN NUMÉRICA CON FEFLOW+FMH3 PARA EL ESTUDIO DEFINITIVO DE LAS GALERÍAS DE DRENAJE: CASO DERRUMBE 5 – COMPLEJO HIDROELÉCTRICO DEL MANTARO"		Tesis de Maestría
Cálculo Hidrológico		Fecha: 10/10/14
DESARROLLO		REFERENCIA



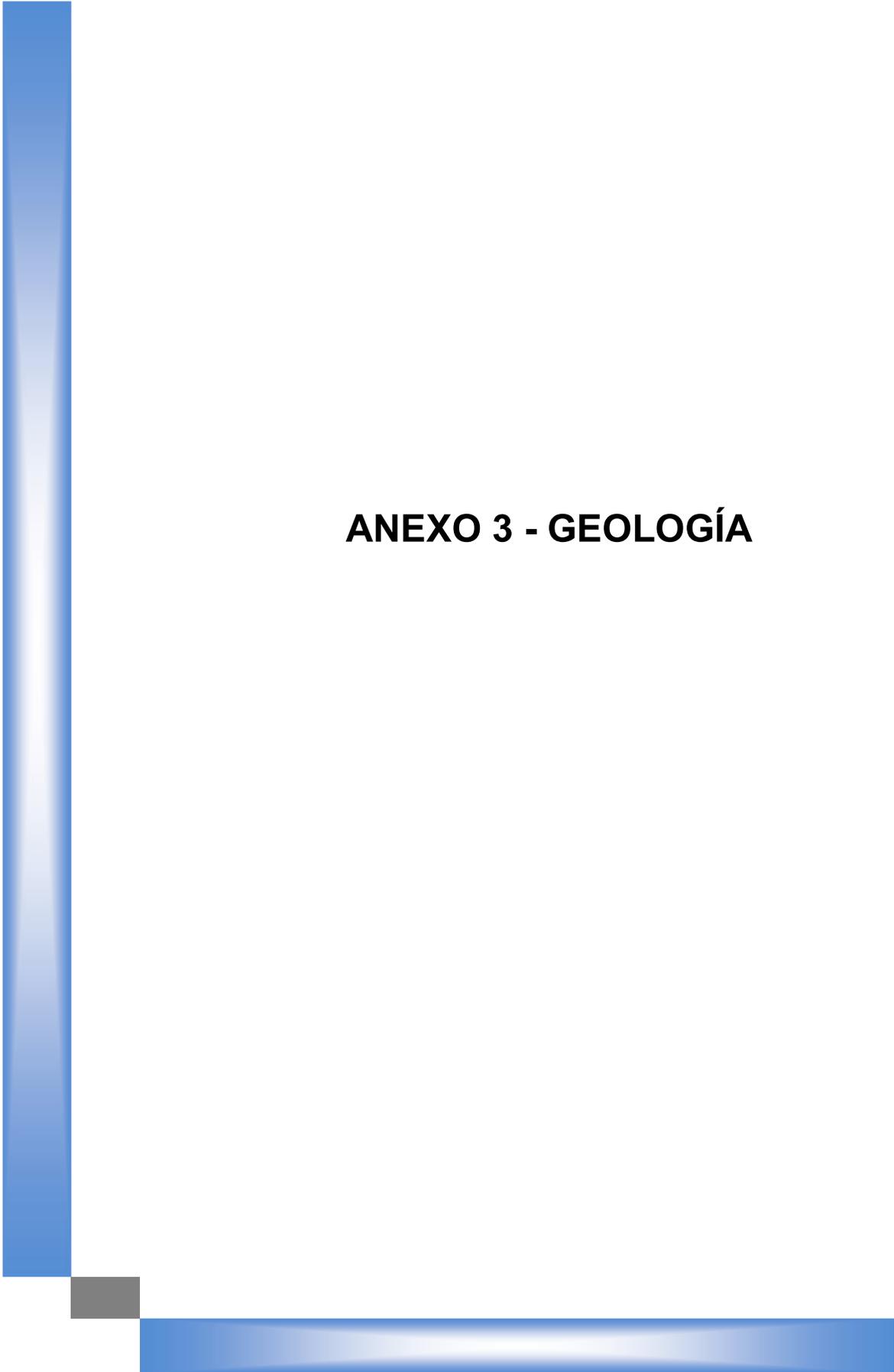
"MODELACIÓN NUMÉRICA CON FEFLOW+FMH3 PARA EL ESTUDIO DEFINITIVO DE LAS GALERÍAS DE DRENAJE: CASO DERRUMBE 5 – COMPLEJO HIDROELÉCTRICO DEL MANTARO"										Tesis de Maestría		
Cálculo Hidrológico										Fecha: 12/02/10		
DESARROLLO										REFERENCIA		

**PRUEBA DE BONDAD DE AJUSTE KOLMOGOROV - SMIRNOV
ZONA DE DERRUMBE 5**

m	x _m	F _o (x _m)	F(x _m) Normal	F _o (x _m)-F(x _m) Normal	F(y _m) Log - Normal	F _o (y _m)-F(y _m) Log - Normal	F(y _m) Pearson III	F _o (y _m)-F(y _m) Pearson III	F(y _m) Log Pearson III	F _o (y _m)-F(y _m) Log Pearson III	F(x _m) GEV I	F _o (x _m)-F(x _m) GEV I
1	98.00	0.976190	0.99999385	0.02380	0.999516	0.02333	0.992883	0.01669	0.991213	0.01502	0.9979	0.02175
2	66.00	0.952381	0.98833156	0.03595	0.986883	0.03450	0.961512	0.00913	0.965831	0.01345	0.9698	0.01746
3	64.00	0.928571	0.98367483	0.05510	0.983778	0.05521	0.956848	0.02828	0.962116	0.03354	0.9644	0.03582
4	55.00	0.904762	0.93876978	0.03401	0.957839	0.05308	0.927572	0.02281	0.937404	0.03264	0.9255	0.02071
5	42.00	0.880952	0.75479747	0.12615	0.839323	0.04163	0.839026	0.04193	0.852240	0.02871	0.7931	0.08788
6	40.00	0.857143	0.71162808	0.14551	0.804773	0.05237	0.816559	0.04058	0.828368	0.02877	0.7600	0.09714
7	38.00	0.833333	0.6651755	0.16816	0.763958	0.06938	0.790303	0.04303	0.799928	0.03341	0.7226	0.11070
8	35.00	0.809524	0.59070296	0.21882	0.689737	0.11979	0.743221	0.06630	0.745776	0.06375	0.6581	0.15141
9	34.00	0.785714	0.56497496	0.22074	0.661351	0.12436	0.724423	0.06129	0.723958	0.06176	0.6343	0.15139
10	34.00	0.761905	0.56497496	0.19693	0.661351	0.10055	0.724591	0.03731	0.723928	0.03798	0.6343	0.12758
11	32.00	0.738095	0.51279485	0.22530	0.599107	0.13899	0.682057	0.05604	0.673242	0.06485	0.5834	0.15467
12	31.00	0.714286	0.48656565	0.22772	0.565356	0.14893	0.658121	0.05616	0.644122	0.07016	0.5564	0.15788
13	31.00	0.690476	0.48656565	0.20391	0.565356	0.12512	0.658080	0.03240	0.644104	0.04637	0.5564	0.13407
14	30.00	0.666667	0.46039445	0.20627	0.529995	0.13667	0.631372	0.03529	0.611611	0.05506	0.5284	0.13824
15	30.00	0.642857	0.46039445	0.18246	0.529995	0.11286	0.631372	0.01148	0.611610	0.03125	0.5284	0.11443
16	30.00	0.619048	0.46039445	0.15865	0.529995	0.08905	0.631761	0.01271	0.611993	0.00705	0.5284	0.09062
17	30.00	0.595238	0.46039445	0.13484	0.529995	0.06524	0.631640	0.03640	0.611964	0.01673	0.5284	0.06681
18	30.00	0.571429	0.46039445	0.11103	0.529995	0.04143	0.631601	0.06017	0.611898	0.04047	0.5284	0.04300
19	30.00	0.547619	0.46039445	0.08722	0.529995	0.01762	0.631716	0.08410	0.611924	0.06430	0.5284	0.01919
20	29.00	0.523810	0.43439377	0.08942	0.493187	0.03062	0.602859	0.07905	0.576544	0.05273	0.4996	0.02422
21	28.00	0.500000	0.40867392	0.09133	0.455152	0.04485	0.570347	0.07035	0.537666	0.03767	0.4700	0.03001
22	27.00	0.476190	0.38334159	0.09285	0.416168	0.06002	0.534626	0.05844	0.495109	0.01892	0.4398	0.03641
23	27.00	0.452381	0.38334159	0.06904	0.416168	0.03621	0.535018	0.08264	0.495053	0.04267	0.4398	0.01260
24	26.00	0.428571	0.35849857	0.07007	0.376572	0.05200	0.494577	0.06601	0.448826	0.02025	0.4091	0.01946
25	26.00	0.404762	0.35849857	0.04626	0.376572	0.02819	0.494558	0.08980	0.448796	0.04403	0.4091	0.00435
26	26.00	0.380952	0.35849857	0.02245	0.376572	0.00438	0.494992	0.11404	0.448819	0.06787	0.4091	0.02816
27	26.00	0.357143	0.35849857	0.00136	0.376572	0.01943	0.494474	0.13733	0.448594	0.09145	0.4091	0.05197
28	25.00	0.333333	0.3342405	0.00091	0.336761	0.00343	0.449045	0.11571	0.398196	0.06486	0.3782	0.04483
29	24.00	0.309524	0.31065578	0.00113	0.297189	0.01233	0.397360	0.08784	0.344656	0.03513	0.3472	0.03763
30	24.00	0.285714	0.31065578	0.02494	0.297189	0.01147	0.397370	0.11166	0.344628	0.05891	0.3472	0.06144
31	23.00	0.261905	0.2878246	0.02592	0.258357	0.00355	0.336392	0.07449	0.287575	0.02567	0.3163	0.05439
32	23.00	0.238095	0.2878246	0.04973	0.258357	0.02026	0.336463	0.09837	0.288070	0.04997	0.3163	0.07820
33	23.00	0.214286	0.2878246	0.07354	0.258357	0.04407	0.336425	0.12214	0.287611	0.07332	0.3163	0.10201
34	22.00	0.190476	0.26581824	0.07534	0.220802	0.03033	0.260416	0.06994	0.228546	0.03807	0.2858	0.09535
35	21.00	0.166667	0.24469839	0.07803	0.185075	0.01841	0.156884	0.00978	0.168342	0.00168	0.2560	0.08933
36	21.00	0.142857	0.24469839	0.10184	0.185075	0.04222	0.155408	0.01255	0.168276	0.02542	0.2560	0.11314
37	20.00	0.119048	0.22451675	0.10547	0.151721	0.03267	0.000069	0.11898	0.109947	0.00910	0.2271	0.10802
38	20.00	0.095238	0.22451675	0.12928	0.151721	0.05648	0.000035	0.09520	0.109939	0.01470	0.2271	0.13183
39	19.00	0.071429	0.20531484	0.13389	0.121246	0.04982	0.003981	0.06745	0.057456	0.01397	0.1993	0.12787
40	17.00	0.047619	0.16996502	0.12235	0.070548	0.02293	0.995016	0.94740	0.979585	0.93197	0.1482	0.10056
41	15.00	0.023810	0.13877911	0.11497	0.034946	0.01114	0.020574	0.00324	0.120128	0.09632	0.1043	0.08053

X	31.51
S	15.21
CS	2.725
n	41
α	0.05
Δ _{crítico}	0.20803

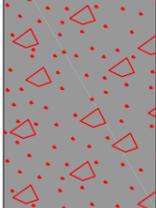
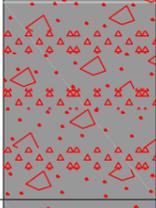
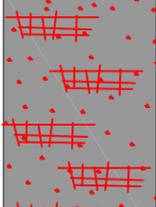
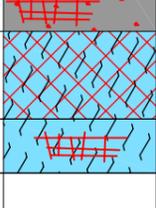
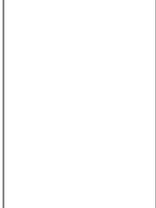
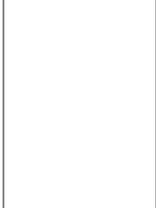
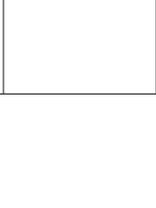
Δ _{máx}	0.22772		0.14893		0.94740		0.93197		0.15788
Δ _{crítico} > Δ _{máx}	No se ajusta		Si se ajusta		No se ajusta		No se ajusta		Si se ajusta
Mejor Ajuste	3		1		5		4		2

A decorative graphic element consisting of a thick blue vertical bar on the left side of the page, which turns 90 degrees clockwise at the bottom to become a thick blue horizontal bar extending towards the right. A small grey square is positioned at the corner where the two blue bars meet.

ANEXO 3 - GEOLOGÍA

REGISTRO DE PERFORACIÓN N° H - 70

PROYECTO : ESTUDIO DEFINITIVO DE OBRAS DE ESTABILIZACIÓN	PROFUNDIDAD ALCANZADA (m) : 85.33	REALIZADO POR : GEOTÉCNICA
SELECCIONADAS PARA EL DERRUMBE 5	INCLINACIÓN DEL SONDEO : 90°	SUPERVISADO POR : _____
UBICACIÓN : DIST. PAMPAS, PROV. TAYACAJA- DEP. HUANCAVELICA	NIVEL FREÁTICO (msnm) : _____	REGISTRADO POR : _____
COORDENADAS UTM NORTE : 8 621 803.500	EQUIPO USADO : _____	REVISADO POR : _____
COORDENADAS UTM ESTE : 523 330.173	FECHA DE INICIO : 1994	PERFORISTA : _____
COTA DE SUPERFICIE : 2880.033	FECHA DE FINALIZACIÓN : 1994	No. TOTAL DE CAJAS : 25

PROFUNDIDAD (m)	TIPO DE CORONA DIAMETRO (mm)	COLOR DE AGUA % DE RETORNO	DESCRIPCIÓN LITOLÓGICA	PROF. CONTACTO (m)	PERFIL GEOLOGICO	DEFORMACION DE INCLINOMETRO	SUCS	AVANCE PERFORADO	RECUPERACIÓN (%)	RQD	GSI MODIFICADO	SPT (N)	PERMEABILIDAD	MUESTRA ENSAYO LABORATORIO	N° DE CAJA
			CUATERNARIO COLUVIAL Q-c						20406080	20406080		20406080			
10			PALEODERRUMBE (Qp-pd)	0.45											
20			FRAGMENTOS ANGULOSOS DE HASTA 20cm DE FILITA CUARCÍTICA CON HORIZONTES DE GRAVA ANGULOSA.												
30															
40			CANTOS Y GRAVA ANGULOSA DE FILITA CUARCÍTICA CON PRESENCIA DE LIMO ARENOSO.												
50				47.1											
60			PAQUETE DE FILITA CUARCÍTICA PARCIALMENTE OXIDADA, CON ALGUNOS HORIZONTES MUY FRACTURADOS												
70				71.4											
80			BRECHA												
80			PIZARRA NEGRA TRITURADA Y CIZALLADA.	80.0											
90			BASAMENTO (D-e)												
90			FILITA/PIZARRA NEGRUSCA ALGO FRACTURADA, CON BUENA RECUPERACIÓN Y RQD.	85.3											

	JEFE DEL PROYECTO:	DIBUJADO POR:	SUPERVISADO POR:	HOJA
--	--------------------	---------------	------------------	------

REGISTRO DE PERFORACION N° H - 71

PROYECTO : ESTUDIO DEFINITIVO DE OBRAS DE ESTABILIZACIÓN	PROFUNDIDAD ALCANZADA (m) : 96.0	REALIZADO POR : GEOTÉCNICA
SELECCIONADAS PARA EL DERRUMBE 5	INCLINACIÓN DEL SONDEO : 90°	SUPERVISADO POR :
UBICACIÓN : DIST. PAMPAS, PROV. TAYACAJA- DEP. HUANCVELICA	NIVEL FREÁTICO (msnm) :	REGISTRADO POR :
COORDENADAS UTM NORTE : 8 621 818.001	EQUIPO USADO :	REVISADO POR :
COORDENADAS UTM ESTE : 523 111.725	FECHA DE INICIO : 1994	PERFORISTA :
COTA DE SUPERFICIE : 2794.063	FECHA DE FINALIZACIÓN : 1994	No. TOTAL DE CAJAS :

PROFUNDIDAD (m)	TIPO DE CORONA DIAMETRO (mm)	COLOR DE AGUA % DE RETORNO	DESCRIPCION LITOLOGICA	PROF. CONTACTO (m)	PERFIL GEOLOGICO	DEFORMACION DE INCLINOMETRO	SUCS	AVANCE PERFORADO	RECUPERACIÓN (%)	RQD	GSI MODIFICADO	SPT (N)	PERMEABILIDAD	MUESTRA ENSAYO LABORATORIO	N° DE CAJA
			CUATERNARIO Q-c						20406080	20406080		20406080			
10			DEPÓSITO COLUVIAL, ARENA GRAVOSA MEDIANAMENTE DENSA	8.01											
20			PALEODERRUMBE (Qp-pd)												
30			ZONA DE BRECHA (Qp-pd-b)	21.8											
40			FILITA CUARCÍTICA GRIS, FRACTURADA Y LIGERAMENTE ARENOSA												
50			PAQUETES DE FILITA CUARCÍTICA GRIS CON FOLIACIÓN, FRACTURADA Y CIZALLADA, CON HORIZONTES DE GRAVA Y LIMO ARCILLOSA.												
60				56.7											
70			PIZARRA NEGRA CON FOLIACIÓN VERTICAL Y UN BUEN RQD. PRESENTA HORIZONTES BIEN FRACTURADOS Y TRITURADOS.												
80			BRECHA	78.0											
90			PIZARRA NEGRA TRITURADA, BIEN FRACTURADA Y CIZALLADA												
96			BASAMENTO (D-e)	90.9											
100			PIZARRA NEGRA FOLIADA, CON BUEN RQD Y RECUPERACIÓN.	96.0											

JEFE DEL PROYECTO:

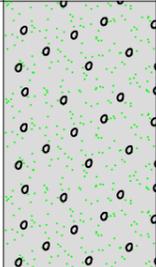
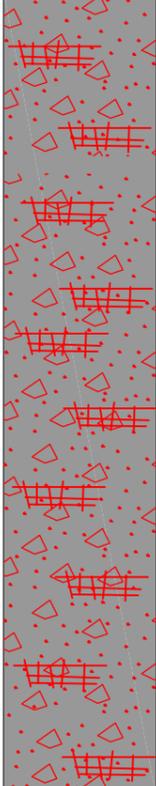
DIBUJADO POR:

SUPERVISADO POR:

HOJA

REGISTRO DE PERFORACION N° H - 72

PROYECTO : ESTUDIO DEFINITIVO DE OBRAS DE ESTABILIZACIÓN	PROFUNDIDAD ALCANZADA (m) : 135.15	REALIZADO POR : GEOTÉCNICA
SELECCIONADAS PARA EL DERRUMBE 5	INCLINACIÓN DEL SONDEO : 90°	SUPERVISADO POR :
UBICACIÓN : DIST. PAMPAS, PROV. TAYACAJA- DEP. HUANCAVELICA	NIVEL FREÁTICO (msnm) :	REGISTRADO POR :
COORDENADAS UTM NORTE : 8 621 686.153	EQUIPO USADO :	REVISADO POR :
COORDENADAS UTM ESTE : 523 165.972	FECHA DE INICIO : 1994	PERFORISTA :
COTA DE SUPERFICIE : 2898.153	FECHA DE FINALIZACIÓN : 1994	No. TOTAL DE CAJAS :

PROFUNDIDAD (m)	TIPO DE CORONA DIAMETRO (mm)	COLOR DE AGUA % DE RETORNO	DESCRIPCION LITOLOGICA	PROF. CONTACTO (m)	PERFIL GEOLOGICO	DEFORMACION DE INCLINOMETRO	SUCS	AVANCE PERFORADO	RECUPERACIÓN (%)	RQD	GSI MODIFICADO	SPT (N)	PERMEABILIDAD	MUESTRA ENSAYO LABORATORIO	N° DE CAJA	
0			CUATERNARIO (Q-c)						20406080	20406080		20406080				
10			DEPÓSITO COLUVIAL, GRAVAS GRUESAS A MEDIANAS CON LIMO ARENO ARCILLOSO, MEDIANAMENTE DENSO													
20				26.6												
30			PALEODERRUMBE (Qp-pd)													
40			BLOQUES DE FILITA CUARCÍTICA GRIS, BIEN FRACTURADA, CON RECUPERACION Y RQD MALO. PRESENCIA DE BLOQUES DE 0.5 A 1m, MODERADAMENTE FRACTURADOS.													
50																
60																
70																
80																
90																
100																
110			PAQUETE DE PIZARRA NEGRA CON FOLIACIÓN SUBVERTICAL, CON DOS HORIZONTES DE CUARZO LECHOSO, FRACTURADA.	105.9		⊗										
120			BRECHA													
130			PIZARRA NEGRA TRITURADA CON FRAGMENTOS ANGULOSOS PEQUEÑOS Y MOLIDOS.	123.6												
			BASAMENTO (D-e)													
			PIZARRA NEGRA FOLIACION SUBVERTICAL, RECUPERACION Y RQD BUENA.	129.6												
				135.15												

JEFE DEL PROYECTO:

DIBUJADO POR:

SUPERVISADO POR:

HOJA

REGISTRO DE PERFORACIÓN N° H - 100

PROYECTO : ESTUDIO DEFINITIVO DE OBRAS DE ESTABILIZACIÓN SELECCIONADAS PARA EL DERRUMBE 5	PROFUNDIDAD ALCANZADA (m) : 140.05 INCLINACIÓN DEL SONDEO : 90° NIVEL FREÁTICO (msnm) : _____ EQUIPO USADO : _____ FECHA DE INICIO : 2005 FECHA DE FINALIZACIÓN : 2005	REALIZADO POR : SVS - INGETEC SUPERVISADO POR : _____ REGISTRADO POR : _____ REVISADO POR : _____ PERFORISTA : _____ No. TOTAL DE CAJAS : _____
UBICACIÓN : DIST. PAMPAS, PROV. TAYACAJA- DEP. HUANCVELICA COORDENADAS UTM NORTE : 8 621 397.356 COORDENADAS UTM ESTE : 523 333.340 COTA DE SUPERFICIE : 3133.893		

PROFUNDIDAD (m)	TIPO DE CORONA DIAMETRO (mm)	COLOR DE AGUA % DE RETORNO	DESCRIPCIÓN LITOLÓGICA	PROF. CONTACTO (m)	PERFIL GEOLOGICO	SUCS	AVANCE PERFORADO	RECUPERACIÓN (%)	RQD	GSI MODIFICADO	SPT (N)	PERMEABILIDAD	MUESTRA ENSAYO LABORATORIO	N° DE CAJA
			CUATERNARIO Q-c					20406080	20406080		20406080			
10			DEPÓSITO COLUVIAL, GRAVA MEDIA A GRUESA SUBANGULOSA A SUBREDONDEADA CON LIMO ARENO ARCILLOSO, SUELTO.											
20			LIMO ARCILLOSO, CON ALGO DE ARENA Y GRAVA, MEDIANAMENTE DENSO.											
21.7			GRUPO AMBO (Ci-a) CARBONIFERO INFERIOR-MEDIO	21.7										
30			METARENISCAS PARDO/BEIGE EN CAPAS GRUESAS, CON ESTRATIFICACIÓN SUBHORIZONTAL. EN TRAMOS FRACTURADA, CON INTERCALACIONES DE METALIMOLITAS.											
40														
47.1			GRUPO EXCELSIOR (D-e) DEVONIANO	47.1										
50			PIZARRA (FILITA CARBONOSA) GRIS, FOLIACIÓN DIAGONAL, CON HORIZONTES BIEN FRACTURADOS Y OXIDADOS											
60														
70			PIZARRA (FILITA CARBONOSA) GRIS, FOLIACIÓN DIAGONAL, Y HORIZONTES MUY FRACTURADOS, CON LIMO ARENOSO.											
80														
90			PIZARRA CON METARENISCA, MUY FRACTURADA CON FOLIACIÓN DIAGONAL.											
97.4			(D-e)	97.4										
100			CUARCITA BEIGE GRISÁCEA, CON BUENA RECUPERACIÓN Y BUEN RQD.											
110														
120			CUARCITA BEIGE GRISÁCEA CON HORIZONTES MUY FRACTURADOS Y ANGULOSOS CON LIMO ARENOSO (BRECHA).											
130														
140			CUARCITA INTERCALADA CON ESQUISTO BEIGE GRISÁCEO, CON FOLIACIÓN DIAGONAL.											
140.0				140.0										
150														
160														
170														
180														
190														

JEFE DEL PROYECTO:

DIBUJADO POR:

SUPERVISADO POR:

HOJA

REGISTRO DE PERFORACIÓN N° H - 101

PROYECTO	ESTUDIO DEFINITIVO DE OBRAS DE ESTABILIZACIÓN SELECCIONADAS PARA EL DERRUMBE 5	PROFUNDIDAD ALCANZADA (m): 160.15	REALIZADO POR: SVS - INGETEC
UBICACIÓN	DIST. PAMPAS, PROV. TAYACAJA- DEP. HUANCVELICA	INCLINACIÓN DEL SONDEO: 90°	SUPERVISADO POR:
COORDENADAS UTM NORTE	8 621 660.361	NIVEL FREÁTICO (msnm):	REGISTRADO POR:
COORDENADAS UTM ESTE	523 230.856	EQUIPO USADO:	REVISADO POR:
COTA DE SUPERFICIE	2930.106	FECHA DE INICIO: 2005	PERFORISTA:
		FECHA DE FINALIZACIÓN: 2005	No. TOTAL DE CAJAS:

PROFUNDIDAD (m)	TIPO DE CORONA DIAMETRO (mm)	COLOR DE AGUA % DE RETORNO	DESCRIPCIÓN LITOLÓGICA	PROF. CONTACTO (m)	PERFIL GEOLOGICO	DEFORMACION DE INCLINOMETRO	SUCS	AVANCE PERFORADO	RECUPERACIÓN (%)	RQD	GSI MODIFICADO	SPT (N)	PERMEABILIDAD	MUESTRA ENSAYO LABORATORIO	N° DE CAJA
0			CUATERNARIO Q-c						20406080	20406080		20406080			
10			DEPÓSITO COLUVIAL, GRAVA MEDIA A GRUESA CON LIMO ARENO ARCILLOSO SUELTO.												
22.35			PALEODERRUMBE (Qp-pd)												
30			BLOQUES DE CUARCITA GRISÁCEA FRACTURADA Y TRITURADA. PRESENTA UN RQD REGULAR												
40			BRECHA DE FALLA CON FRAGMENTOS DE CUARCITA EN MATRIZ ARENO-ARCILLOSA												
50			ZONA DE BRECHA CONSTITUIDA POR BLOQUES DE CUARCITA, CON ALGUNAS CAPAS DE PIZARRA GRISÁCEA.												
60			PAQUETES DE ESQUISTO CUARCÍTICO GRISÁCEO, CON HORIZONTES FRACTURADOS Y TRITURADOS												
70			PAQUETE DE ESQUISTO CUARCÍTICO GRISÁCEO POCO FRACTURADO, CON RECUPERACIÓN Y RQD BUENA.												
94.95			BRECHA CUARCITICA/ESQUISTO (Qp-pd-b)												
100			BLOQUES DE ESQUISTOS CUARCÍTICOS INTERCALADOS CON ROCA FRACTURADA.												
110			BRECHA DE FALLA CON FRAGMENTOS DE CUARCITA Y MATRIZ ARENO-ARCILLOSA												
120			BLOQUES DE ESQUISTOS CUARCÍTICOS CON FOLIACION DIAGONAL. RECUPERACIÓN Y RQD REGULAR, PRINCIPALMENTE OXIDADA.												
130			BLOQUES DE ESQUISTO CUARCÍTICO CON PIZARRAS NEGRAS, FRACTURADAS Y CIZALLADAS.												
129.8			BRECHA DE FALLA												
140			PIZARRA CARBONOSA NEGRUSCA FRACTURADA, CIZALLADA Y TRITURADA.												
153.9			BASAMENTO (D-e)												
160.2			PIZARRA NEGRA SANA, RECUPERACION Y RQD MUY BUENA. HORIZONTES FRACTURADOS CON FOLIACION VERTICAL.												

JEFE DEL PROYECTO:

DIBUJADO POR:

SUPERVISADO POR:

HOJA

REGISTRO DE PERFORACIÓN N° H - 102

PROYECTO : ESTUDIO DEFINITIVO DE OBRAS DE ESTABILIZACIÓN SELECCIONADAS PARA EL DERRUMBE 5	PROFUNDIDAD ALCANZADA (m) : 130.75 INCLINACIÓN DEL SONDEO : 90° NIVEL FREÁTICO (msnm) : _____ EQUIPO USADO : _____ FECHA DE INICIO : 2005 FECHA DE FINALIZACIÓN : 2005	REALIZADO POR : SVS - INGETEC SUPERVISADO POR : _____ REGISTRADO POR : _____ REVISADO POR : _____ PERFORISTA : _____ No. TOTAL DE CAJAS : 25
UBICACIÓN : DIST. PAMPAS, PROV. TAYACAJA - DEP. HUANCÁVELICA COORDENADAS UTM NORTE : 8 621 720.523 COORDENADAS UTM ESTE : 523 361.492 COTA DE SUPERFICIE : 2942.661		

PROFUNDIDAD (m)	TIPO DE CORONA DIÁMETRO (mm)	COLOR DE AGUA % DE RETORNO	DESCRIPCIÓN LITOLÓGICA	PROF. CONTACTO (m)	PERFIL GEOLOGICO	DEFORMACION DE INCLINOMETRO	SUCS	AVANCE PERFORADO	RECUPERACIÓN (%)	RQD	GSI MODIFICADO	SPT (N)	PERMEABILIDAD	MUESTRA ENSAYO LABORATORIO	N° DE CAJA	
			CUATERNARIO Q-c						20406080	20406080		20406080				
10			DEPÓSITO COLUVIAL CON ARENA GRAVOSA CON LIMO ARCILLOSO, SUELTA													
20			DEPÓSITO COLUVIAL SUBANGULOSO, GRAVA MEDIA A GRUESA, CON LIMO ARENO ARCILLOSO.													
30																
40			PALEODERRUMBE (Qp-pd)	36.3												
50			BLOQUES DE FILITA CUARCÍTICA Y ESQUISTO, MUY FRACTURADO A TRITURADO, CON HORIZONTES DE GRAVA LIMO ARCILLOSA.													
60																
70			BLOQUES DE CUARCITA Y ESQUISTO GRIS FRACTURADOS.													
80																
90			BRECHA DE FALLA (D-e)	95.7												
100			BRECHA DE FALLA CON PIZARRA FRACTURADA, CIZALLADA													
110			BASAMENTO (D-e)	99.1												
120			PIZARRA NEGRA ALGO FRACTURADA, CON FOLIACION DIAGONAL.													
130			PIZARRA CARBONOSA NEGRA, SANA, CON FOLIACION SUBVERTICAL.													
140			PIZARRA NEGRA FRACTURADA Y CIZALLADA, CON VETAS DE CUARZO.	130.7												
150																
160																
170																
180																
190																

JEFE DEL PROYECTO:

DIBUJADO POR:

SUPERVISADO POR:

HOJA

REGISTRO DE CAMPO PARA PERFORACIÓN N° H - 103

PROYECTO	ESTUDIO DEFINITIVO DE OBRAS DE ESTABILIZACIÓN	PROFUNDIDAD ALCANZADA (m) :	140.05	REALIZADO POR :	SVS INGETEC
	SELECCIONADAS PARA EL DERRUMBE 5	INCLINACIÓN DEL SONDEO :	90°	SUPERVISADO POR :	
UBICACIÓN	DIST. PAMPAS, PROV. TAYACAJA-DEP. HUANCVELICA	NIVEL FREÁTICO (msnm) :		REGISTRADO POR :	
COORDENADAS UTM NORTE	8 621 604.833	EQUIPO USADO :		REVISADO POR :	
COORDENADAS UTM ESTE	523 331.938	FECHA DE INICIO :	2005	PERFORISTA :	
COTA DE SUPERFICIE	2986.711	FECHA DE FINALIZACIÓN :	2005	No. TOTAL DE CAJAS :	

PROFUNDIDAD (m)	TIPO DE CORONA DIAMETRO (mm)	COLOR DE AGUA % DE RETORNO	DESCRIPCIÓN LITOLÓGICA	PROF. CONTACTO (m)	PERFIL GEOLOGICO	DEFORMACION DE INCLINOMETRO	SUCS	AVANCE PERFORADO	RECUPERACIÓN (%)	RQD	GSI MODIFICADO	SPT (N)	PERMEABILIDAD	MUESTRA ENSAYO LABORATORIO	N° DE CAJA
0			CUATERNARIO Q-c DEPOSITO COLUVIAL, GRAVA CON ARENA LIMOSA SUELTA.		(Dotted pattern)				20406080	20406080		20406080			
10															
20															
30															
40			GRAVA MEDIA A GRUESA CON LIMO ARENO ARCILLOSO, MEDIANAMENTE DENSA. CON CANTOS DE ARENISCA CUARCITICA METEORIZADA												
50															
60															
70															
72.3			PALEODERRUMBE (Qp-pd)	72.3	(Dotted pattern)										
80			CUARCITA BIEN FRACTURADA CON FRAGMENTOS ANGULOSOS: CON PIZARRAS INTERESTRATIFICADAS CON CUARCITAS INTENSAMENTE FRACTURADAS.												
90															
100			PIZARRA CUARCITICA TRITURADA DE COLOR AMARILLO PARDUSCO.		(Cross-hatched pattern)										
108.3			ZONA DE BRECHA DE FALLA	108.3	(Cross-hatched pattern)	⊗									
110			PIZARRA NEGRA CARBONOSA CIZALLADA Y TRITURADA												
120			BRECHA DE FALLA		(Cross-hatched pattern)										
130			PIZARRA NEGRA INTENSAMENTE FRACTURADA Y CIZALLADA												
132.0			BASAMENTO (D-e)	132.0	(Wavy pattern)										
140			PIZARRA NEGRA CON FOLIACIÓN DIAGONAL, CON VETAS DE CUARZO. RQD REGULAR.	140.0											
150															
160															
170															
180															
190															

JEFE DEL PROYECTO:

DIBUJADO POR:

SUPERVISADO POR:

HOJA

REGISTRO DE PERFORACION N° H - 104

PROYECTO : ESTUDIO DEFINITIVO DE OBRAS DE ESTABILIZACIÓN SELECCIONADAS PARA EL DERRUMBE 5	PROFUNDIDAD ALCANZADA (m) : 150.30 INCLINACIÓN DEL SONDEO : 90° NIVEL FREÁTICO (msnm) : _____ EQUIPO USADO : _____ FECHA DE INICIO : 2005 FECHA DE FINALIZACIÓN : 2005	REALIZADO POR : SVS - INGETEC SUPERVISADO POR : _____ REGISTRADO POR : _____ REVISADO POR : _____ PERFORISTA : _____ No. TOTAL DE CAJAS : _____
UBICACIÓN : DIST. PAMPAS, PROV. TAYACAJA- DEP. HUANCAVELICA COORDENADAS UTM NORTE : 8 621 756.632 COORDENADAS UTM ESTE : 523 109.967 COTA DE SUPERFICIE : 2842.044		

PROFUNDIDAD (m)	TIPO DE CORONA DIAMETRO (mm)	COLOR DE AGUA % DE RETORNO	DESCRIPCION LITOLOGICA	PROF. CONTACTO (m)	PERFIL GEOLOGICO	DEFORMACION DE INCLINOMETRO	SUCS	AVANCE PERFORADO	RECUPERACIÓN (%)	RQD	GSI MODIFICADO	SPT (N)	PERMEABILIDAD	MUESTRA ENSAYO LABORATORIO	N° DE CAJA
			CUATERNARIO Q-c DEPÓSITO COLUVIAL DE CUARCITAS CON LIMO ARENOSO						20406080	20406080		20406080			
10			PALEODERRUMBE (Qp-pd) BLOQUES DE HASTA 1.60m. DE CUARCITA Y ESQUISTO.	10.6											
20			HORIZONTES INTENSAMENTE FRACTURADOS Y TRITURADOS CON GRAVA Y LIMO ARCILLOSO												
30															
40			ZONA DE BRECHA PIZARRA CARBONOSA GRIS NEGRUSCA CON FOLIACIÓN SUBVERTICAL. HORIZONTES INTENSAMENTE FRACTURADOS Y TRITURADOS CON BRECHAS DE FALLA DE 0.2, 1.0 Y 2.8m DE POTENCIA	40.0											
50			PIZARRAS NEGRAS OXIDADAS CON FOLIACION SUBVERTICAL Y DIAGONAL, CON VETAS DE CUARZO LECHOSO. HACIA LA BASE, INTENSAMENTE FRACTURADA Y TRITURADA, CON BRECHAS DE FALLA DE 0.15 A 0.20m DE POTENCIA.												
60															
70															
80															
90			PREDOMINA PIZARRA NEGRA CARBONOSA, MUY FRACTURADA Y TRITURADA, ATRAVESADA POR CINCO BRECHAS DE FALLA DE 15 A 20cm DE ESPESOR.	68.6											
100															
110			BASAMENTO (EXCELSIOR D-e) PIZARRA NEGRA CON FOLIACIÓN SUBVERTICAL A DIAGONAL. RECUPERACION Y RQD, BUENO A REGULAR, SUS HORIZONTES SE PRESENTAN MUY FRACTURADOS	105.3											
120															
130															
140															
150				150.3											
160															
170															
180															
190															

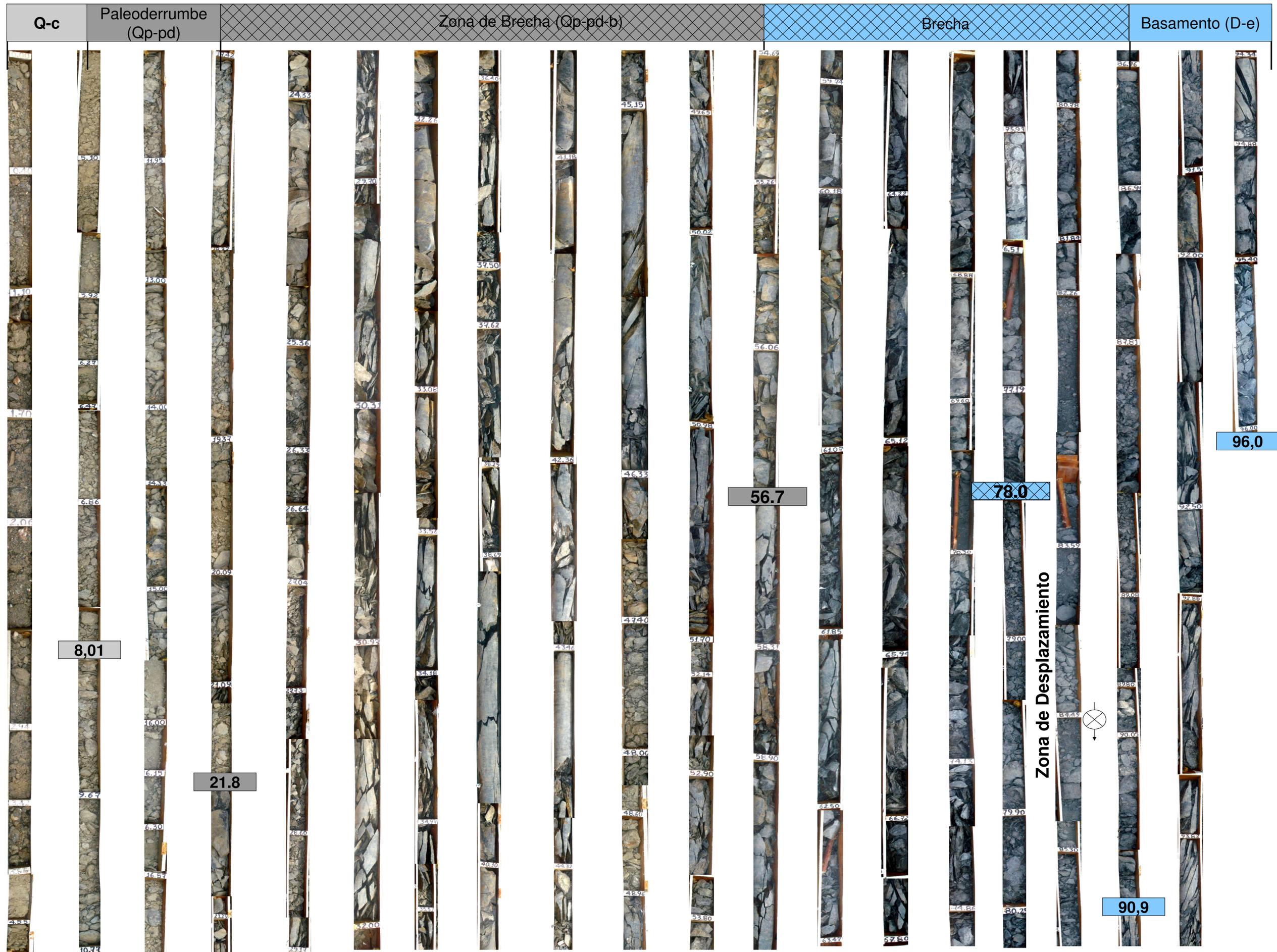
JEFE DEL PROYECTO:

DIBUJADO POR:

SUPERVISADO POR:

HOJA

FOTOGRAFIAS DE PERFORACIÓN N° H-71



FOTOGRAFIAS DE PERFORACIÓN N° H-72

Cuaternario Q-c

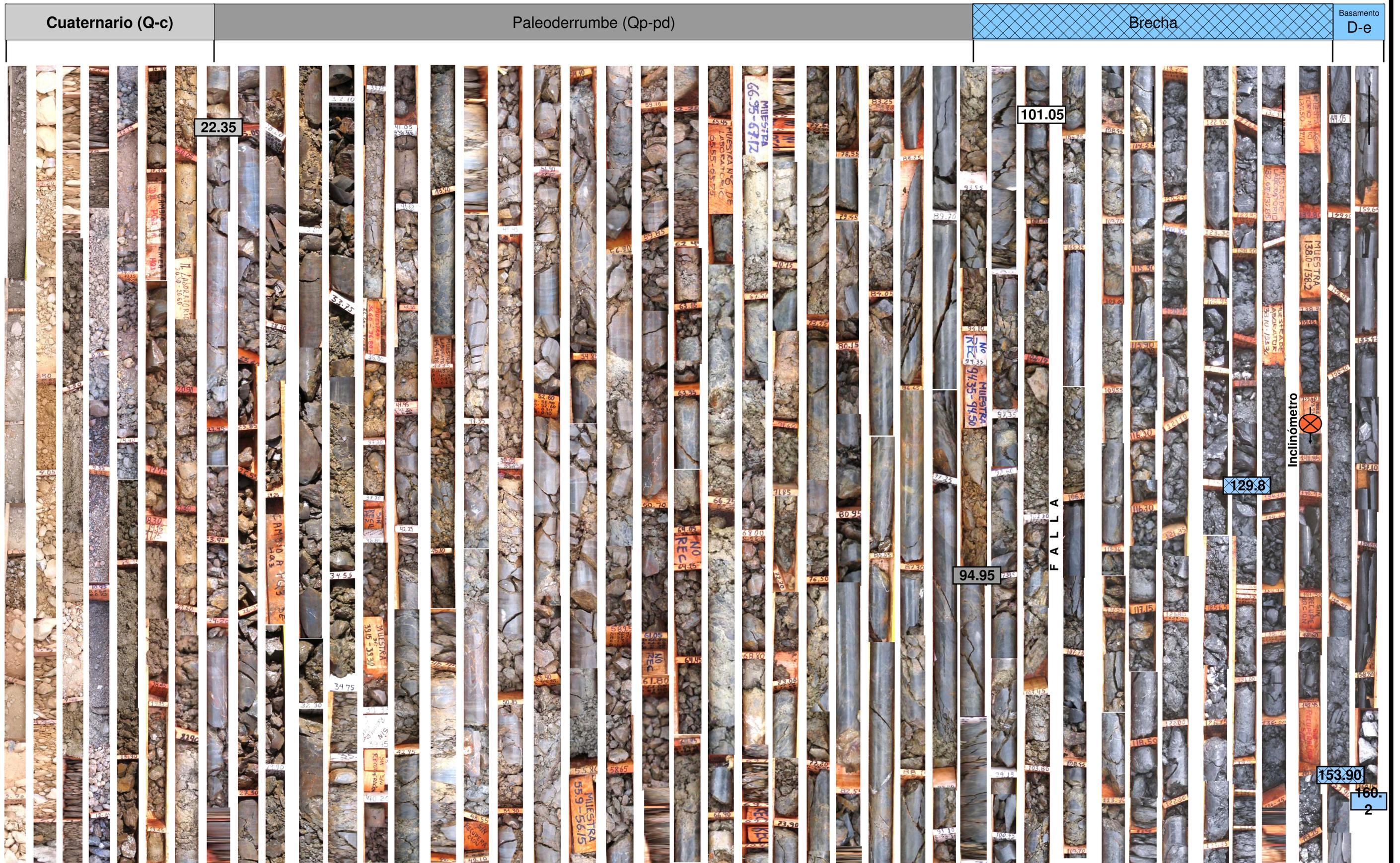
Paleoderrumbe (Qp-pd)

Brecha

Basamento D-e



FOTOGRAFIAS DE PERFORACION H - 101



FOTOGRAFIAS DE PERFORACION H - 104



10.6

40.0

68.6

105.3

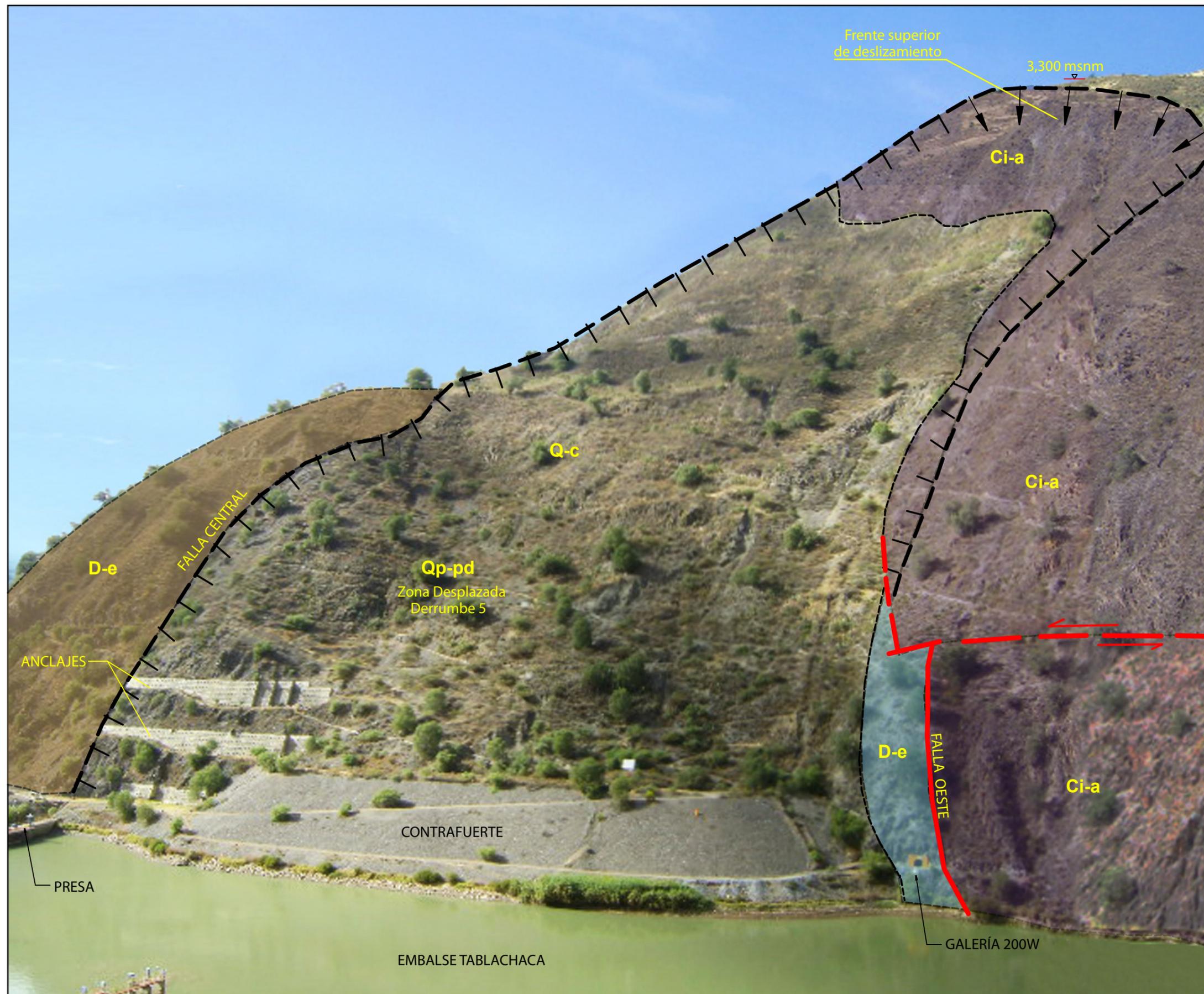
150.3

Inclinómetro



LEYENDA	
CUATERNARIO	
(Q-c) Coluvial:	Fragmentos sueltos, tamaño grava gruesa y media, en matriz limo-arcillosa-arenosa.
(Qp-pd) Paleoderrumbe:	Bloques de esquistos muy fragmentados a triturados con finos de limo-arcillosos gravosos. Espesor hasta 100 m.
CARBONIFERO INFERIOR-MEDIO	
(Ci-a) Grupo Ambo:	Metagrawaca, metareniscas y filitas

FOTO N° 1. Vista panorámica del Derrumbe 5. Se aprecia la parte superior, cota 3300 m del frente de desplazamiento del Derrumbe 5.



LEYENDA	
CUATERNARIO	
(Q-c) Coluvial:	Fragmentos sueltos, tamaño grava gruesa y media, en matriz limo-arcillosa-arenosa.
(Qp-pd) Paleoderrumbe:	Bloques de esquistos muy fraturados a triturados con finos de limo-arcillosos gruesos. Espesor hasta 100 m.
CARBONIFERO INFERIOR-MEDIO	
(Ci-a) Grupo Ambo:	Metagrawaca, metareniscas y filitas
DEVONIANO	
(D-e) Grupo Exceisor:	Esquisto y pizarra gris oscuro con intercalaciones de cuarcita.

FOTO N° 2. Vista panorámica del Derrumbe 5. Se aprecia el frente superior de Deslizamiento y la zona desplazada con cobertura coluvial.

EVALUACIÓN GEOMECANICA

Estación EG-01



Foto N°1. Descripción. Vista panorámica que muestra la ubicación de la estación geomecánica.



Foto N°2. Vista que muestra en detalle las características de la estación geomecánica

EVALUACIÓN GEOMECÁNICA

Estación EG-02



Foto N°1. Descripción. Vista panorámica que muestra la ubicación de la estación geomecánica.

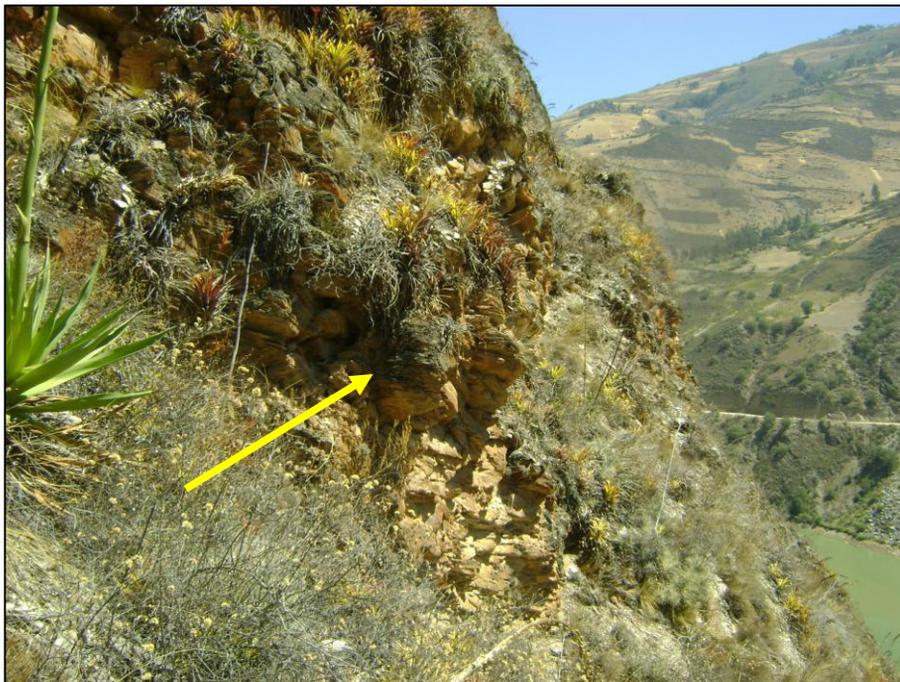


Foto N°2. Vista que muestra en detalle las características de la estación geomecánica

EVALUACIÓN GEOMECÁNICA

Estación EG-03



Foto N°1. Descripción. Vista panorámica que muestra la ubicación de la estación geomecánica.



Foto N°2. Vista que muestra en detalle las características de la estación geomecánica

 CESEL INGENIEROS LABORATORIO GEOTÉCNICO Y DE CONCRETO	REGISTRO	Código: LGC-P-01-G4-F2-S Versión: 00 Aprobado: CSGILGC Fecha: 15/05/2009 Página: 1 de 1
	INFORME DE RESULTADO DE ENSAYOS	

N° de informe : **LGC-09-161**

Fecha de Emisión : 02/09/2009

Código de proyecto: 093300

Fecha de recepción: 26/08/2009

Solicitante: Ing. Evaristo Minaya Basilio

Proyecto: Estudio Definitivo de las Obras de Estabilización / Derrumbe 5

Ubicación: Pampas-Tayacaja-Huancavelica

Datos de la muestra

Sondeo: T-1

Muestra: M-1

Profundidad (m): 0.00-1.00

Tipo de roca: FILLITA CUARZOSA

Propiedades físicas de las rocas

Resultados

Gravedad específica y absorción de la roca

ASTM D 6473

Gravedad específica nominal: 2.71

Gravedad específica nominal (s.s.s.): 2.72

Gravedad específica aparente: 2.74

Absorción (%): 0.48

Densidad de la roca

NTP 339.139 / ASTM D 2937

Densidad de la roca (gr/cm3): 2.68

Densidad de la roca seca (gr/cm3): 2.67

Observaciones:



 CESEL INGENIEROS LABORATORIO GEOTÉCNICO Y DE CONCRETO	REGISTRO	Código: LGC-P-01-G4-F2-S Versión: 00 Aprobado: CSGILGC Fecha: 15/05/2009 Página: 1 de 1
	INFORME DE RESULTADO DE ENSAYOS	

N° de informe : **LGC-09-161**

Fecha de Emisión : 02/09/2009

Código de proyecto: 093300

Fecha de recepción: 26/08/2009

Solicitante: Ing. Evaristo Minaya Basilio

Proyecto: Estudio Definitivo de las Obras de Estabilización / Derrumbe 5

Ubicación: Pampas-Tayacaja-Huancavelica

Datos de la muestra

Sondeo: T-1

Muestra: M-1

Profundidad (m): 0.00-0.80

Tipo de roca: PIZARRA CARBONACEA

Propiedades físicas de las rocas

Resultados

Gravedad específica y absorción de la roca

ASTM D 6473

Gravedad específica nominal: 2.66

Gravedad específica nominal (s.s.s.): 2.67

Gravedad específica aparente: 2.7

Absorción (%): 0.51

Densidad de la roca

NTP 339.139 / ASTM D 2937

Densidad de la roca (gr/cm3): 2.66

Densidad de la roca seca (gr/cm3): 2.65

Observaciones:



 CESEL INGENIEROS LABORATORIO GEOTÉCNICO Y DE CONCRETO	REGISTRO	Código: LGC-P-01-G4-F2-S Versión: 00 Aprobado: CSGILGC Fecha: 15/05/2009 Página: 1 de 1
	INFORME DE RESULTADO DE ENSAYOS	

N° de informe : **LGC-09-161**

Fecha de Emisión : 02/09/2009

Código de proyecto: 093300

Fecha de recepción: 26/08/2009

Solicitante: Ing. Evaristo Minaya Basilio

Proyecto: Estudio Definitivo de las Obras de Estabilización / Derrumbe 5

Ubicación: Pampas-Tayacaja-Huancavelica

Datos de la muestra

Sondeo: T-1

Muestra: M-1

Profundidad (m): 0.00-0.80

Tipo de roca: FILLITA

Propiedades físicas de las rocas

Resultados

Gravedad específica y absorción de la roca

ASTM D 6473

Gravedad específica nominal: 2.53

Gravedad específica nominal (s.s.s.): 2.61

Gravedad específica aparente: 2.76

Absorción (%): 3.23

Densidad de la roca

NTP 339.139 / ASTM D 2937

Densidad de la roca (gr/cm3): 2.47

Densidad de la roca seca (gr/cm3): 2.46

Observaciones:



 CESEL INGENIEROS LABORATORIO GEOTÉCNICO Y DE CONCRETO	REGISTRO	Código: LGC-P-01-G4-F2-S Versión: 00 Aprobado: CSGILGC Fecha: 15/05/2009 Página: 1 de 1
	INFORME DE RESULTADO DE ENSAYOS	

N° de informe : **LGC-09-161**

Fecha de Emisión : 02/09/2009

Código de proyecto: 093300

Fecha de recepción: 26/08/2009

Solicitante: Ing. Evaristo Minaya Basilio

Proyecto: Estudio Definitivo de las Obras de Estabilización / Derrumbe 5

Ubicación: Pampas-Tayacaja-Huancavelica

Datos de la muestra

Sondeo: T-1

Muestra: M-1

Profundidad (m): 0.00-0.70

Tipo de roca: PIZARRA CARBON

Propiedades físicas de las rocas

Resultados

Gravedad específica y absorción de la roca

ASTM D 6473

Gravedad específica nominal: 2.66

Gravedad específica nominal (s.s.s.): 2.71

Gravedad específica aparente: 2.8

Absorción (%): 1.92

Densidad de la roca

NTP 339.139 / ASTM D 2937

Densidad de la roca (gr/cm3): 2.64

Densidad de la roca seca (gr/cm3): 2.62

Observaciones:



 CESEL INGENIEROS LABORATORIO GEOTÉCNICO Y DE CONCRETO	REGISTRO	Código: LGC-P-01-G6-F11-S Versión: 01 Aprobado: CSGILGC Fecha: 15/05/2009 Página: 1 de 1
	INFORME DE RESULTADOS DE ENSAYOS	

Informe N° : **LGC-09-161**

Fecha de Emisión :

ANÁLISIS QUÍMICO EN SUELO - AGUA
NTP 339.152 / ASTM D 1889, NTP 339.176 / ASTM D 4972/ ASTM D 1293,
NTP 339.177/ ASTM D 512, NTP 339.178/ ASTM D 516

Código del proyecto: 093300

Fecha de recepción : 26/08/2009

Solicitante : Ing. Evaristo Minaya Basilio

Proyecto : Estudio Definitivo de las Obras de Estabilización / Derrumbe 5

Ubicación : Pampas-Tayacaja-Huancavelica

Sondeo	Muestra	Profundidad (m)	pH	C.E. us/cm	SST mg/Kg	Cloruros mg/Kg	Sulfatos mg/Kg
T-1	M-1	0.00-0.80	8.8	171	291	10	60
T-1	M-1	0.00-0.80	8.5	1230	2535	49	615
T-1	M-1	0.00-0.70	8.9	152	270	5	28

Observaciones:

- La unidad empleada mg/Kg es respecto al suelo y equivale a ppm.
- T-1/M-1/0,00-0,80/ EG-1/ZONA SUPERIOR. GALERIA S-250.
- T-1/M-1/0,80 -0,80/ EG-2/ LADERA MEDIA - FALLA TRANSVERSAL
- T-1/ M-1/ 0,00-0,70/ POZA FINAL DE CANAL PROYECTADO



VALORACION DEL MACIZO ROCOSO
CLASIFICACION GEOMECANICA DE BIENIAWSKI - RMR

CODIGO DEL PROYECTO : 93300

FECHA : 19.08.09

PROYECTO : Estudio Definitivo de las Obras de Estabilización Seleccionadas para el Derrumbe 5

REALIZADO : Ing. E.M.B.

ESTACION : EG-2

REVISADO : Ing. H.S.D

UBICACIÓN : Ladera Media - Falla transversal

DETERMINACION DEL VALOR DE RMR (ROCK MASS RATING)

1.- RESISTENCIA DE LA ROCA INTACTA (Ensayo de Carga Puntual)							83.0 Mpa
Rango de valores	> 250	100 - 250	50 - 100	25 - 50	5 - 25	1 - 5	< 1
Puntaje	15	12	7	4	2	1	0
Valoración :							6

2.- VALOR DE RQD (Rock Quality Index)						35 %
Rango de valores	90 - 100	75 - 90	50 - 75	25 - 50	< 25	
Puntaje	20	17	13	8	3	
Valoración :						5

3.- ESPACIADO DE LAS DISCONTINUIDADES						0.10 m
Rango de valores	> 2	0.6 - 2	0.2 - 0.6	0.06 - 0.2	< 0.06	
Puntaje	20	15	10	8	5	
Valoración :						6

4.- CONDICION DE LAS DISCONTINUIDADES						
Persistencia de las discontinuidades						6 m
Rango de valores	< 1	1 - 3	3 - 10	10 - 20	> 20	
Puntaje	6	4	2	1	0	
Valoración :						2

Separación (apertura)						6 mm
Rango de valores	Ninguno	< 0.1	0.1 - 1.0	1 - 5	> 5	
Puntaje	6	5	4	1	0	
Valoración :						0

Rugosidad						L
Condición	Muy rugosa VR	Rugosa R	Ligeramente rugosa SR	Lisa L	Superficie pulida SK	
Puntaje	6	5	3	1	0	
Valoración :						1

Relleno						4 mm
Rango de valores	Ninguno	Duro < 5	Duro > 5	Blando < 5	Blando > 5	
Puntaje	6	4	2	2	0	
Marque con X el tipo de relleno : Blando : <input checked="" type="checkbox"/> Duro : <input type="checkbox"/>						Valoración :
						2

Meteorización						MW
Condición	No Intemperizada UW	Ligeramente intemperizada SW	Moderadamente Intemperizada MW	Altamente Intemperizada HW	Completamente Intemperizada CW	
Puntaje	6	5	3	1	0	
Valoración :						3

5.- CONDICIONES GENERALES DEL AGUA SUBTERRANEA						DM
Condición	Completamente seca CD	Humeda DM	Mojada WT	Goteo DP	Flujo FW	
Puntaje	15	10	7	4	0	
Valoración :						10

6.- AJUSTE POR ORIENTACION DE LAS DISCONTINUIDADES						FR
Orientaciones del rumbo y buzamiento	Muy Favorable VF	Favorable FV	Regular FR	Desfavorable UF	Muy desfavorable VU	
Puntaje según el tipo de trabajo	Túneles y minas (T)	0	-2	-5	-10	-12
	Cimentaciones (F)	0	-2	-7	-15	-25
	Taludes (S)	0	-5	-25	-50	-60
Indique el tipo de trabajo <input checked="" type="checkbox"/> T						Valoración :
						-5

VALOR DE RMR	
RMR Básico	35
RMR Ajustado	30
RMR89 (condiciones secas y muy favorables)	40
Cohesión (c)	175 KPa
Angulo de fricción interna (°)	23°

VALORACION DEL MACIZO ROCOSO
CLASIFICACION GEOMECANICA DE BIENIAWSKI - RMR

CODIGO DEL PROYECTO : 93300

FECHA : 18.08.09

PROYECTO : Estudio Definitivo de las Obras de Estabilización Seleccionadas para el Derrumbe 5

REALIZADO : Ing. E.M.B.

ESTACION : EG-1

REVISADO : Ing. H.S.D

UBICACIÓN : Zona Superior Galería 250 A

DETERMINACION DEL VALOR DE RMR (ROCK MASS RATING)

1.- RESISTENCIA DE LA ROCA INTACTA (Ensayo de Carga Puntual)							167.0 Mpa
Rango de valores	> 250	100 - 250	50 - 100	25 - 50	5 - 25	1 - 5	< 1
Puntaje	15	12	7	4	2	1	0
Valoración :							9

2.- VALOR DE RQD (Rock Quality Index)						50 %
Rango de valores	90 - 100	75 - 90	50 - 75	25 - 50	< 25	
Puntaje	20	17	13	8	3	
Valoración :						8

3.- ESPACIADO DE LAS DISCONTINUIDADES						0.10 m
Rango de valores	> 2	0.6 - 2	0.2 - 0.6	0.06 - 0.2	< 0.06	
Puntaje	20	15	10	8	5	
Valoración :						6

4.- CONDICION DE LAS DISCONTINUIDADES						
Persistencia de las discontinuidades						6 m
Rango de valores	< 1	1 - 3	3 - 10	10 - 20	> 20	
Puntaje	6	4	2	1	0	
Valoración :						2

Separación (apertura)						2 mm
Rango de valores	Ninguno	< 0.1	0.1 - 1.0	1 - 5	> 5	
Puntaje	6	5	4	1	0	
Valoración :						1

Rugosidad						SR
Condición	Muy rugosa VR	Rugosa R	Ligeramente rugosa SR	Lisa L	Superficie pulida SK	
Puntaje	6	5	3	1	0	
Valoración :						3

Relleno						0 mm
Rango de valores	Ninguno	Duro < 5	Duro > 5	Blando < 5	Blando > 5	
Puntaje	6	4	2	2	0	
Marque con X el tipo de relleno : Blando : Duro : X						Valoración : 6

Meteorización						SW
Condición	No Intemperizada UW	Ligeramente intemperizada SW	Moderadamente Intemperizada MW	Altamente Intemperizada HW	Completamente Intemperizada CW	
Puntaje	6	5	3	1	0	
Valoración :						5

5.- CONDICIONES GENERALES DEL AGUA SUBTERRANEA						DM
Condición	Completamente seca CD	Humeda DM	Mojada WT	Goteo DP	Flujo FW	
Puntaje	15	10	7	4	0	
Valoración :						10

6.- AJUSTE POR ORIENTACION DE LAS DISCONTINUIDADES						FR
Orientaciones del rumbo y buzamiento	Muy Favorable VF	Favorable FV	Regular FR	Desfavorable UF	Muy desfavorable VU	
Puntaje según el tipo de trabajo	Túneles y minas (T)	0	-2	-5	-10	-12
	Cimentaciones (F)	0	-2	-7	-15	-25
	Taludes (S)	0	-5	-25	-50	-60
Indique el tipo de trabajo T						Valoración : -5

VALOR DE RMR	
RMR Básico	50
RMR Ajustado	45
RMR89 (condiciones secas y muy favorables)	55
Cohesión (c)	250 KPa
Angulo de fricción interna (°)	30°

**VALORACION DEL MACIZO ROCOSO
CLASIFICACIÓN GEOMECANICA DE BARTON - INDICE Q**

NOMBRE DEL PROYECTO	: Estudio Definitivo de las Obras de Estabilización Seleccionadas para el Derrumbe 5	
CODIGO DEL PROYECTO	: 093300	FECHA : Noviembre, 2009
UBICACIÓN	: Zona Superior Galería 250 A	REALIZADO : E.M.B
NOMBRE DE LA ROCA	: Pizarra Carbonosa	REVISADO : H.S.D
CODIGO DE MUESTREO	: EG-1	

Parámetros de	Parametros Característicos del Indice Q	Valor
RQD (%)	Calidad del Testigo	50.00
Jn	Indice de Diaclasado	9.00
Jr	Indice de Rugosidad de las Discontinuidades	1.50
Ja	Indice de Alteración de Discontinuidades	0.75
Jw	Factor de Reducción por la prsencia del agua	1.00
SRF	Condiciones tensionales de la Roca	2.50

Indice Q	Valor
$Q = \underbrace{\frac{RQD}{Jn}}_{\text{tamaño del bloque medio}} \times \underbrace{\frac{Jr}{Ja}}_{\text{resistencia al corte en bloques}} \times \underbrace{\frac{Jw}{SRF}}_{\text{tensión activa o eficaz}}$	4.444

Criterios para los Valores de Q	Q	Nuestro Caso
Roca Excepcionalmente mala	0,001 - 0,01	Roca media
Roca Extremadamente mala	0,01 - 0,1	
Roca muy mala	0,1 - 1	
Roca mala	1,0 - 4,0	
Roca media	4,0 - 10,0	
Roca buena	10,0 - 40,0	
Roca muy buena	40,0 - 100,0	
Roca Extremadamente buena	100,0 - 400,0	
Roca Excepcionalmente buena	400, - 1000,0	

**VALORACION DEL MACIZO ROCOSO
CLASIFICACIÓN GEOMECANICA DE BARTON - INDICE Q**

NOMBRE DEL PROYECTO : Estudio Definitivo de las Obras de Estabilización Seleccionadas para el Derrumbe 5

CODIGO DEL PROYECTO : 093300

FECHA : Noviembre, 2009

UBICACIÓN : Ladera Media - Falla Transversal

REALIZADO : E.M.B

NOMBRE DE LA ROCA : Filita

REVISADO : H.S.D

CODIGO DE MUESTREO : EG-2

Parámetros de Q	Parametros Característicos del Indice Q	Valor
RQD (%)	Calidad del Testigo	35.00
Jn	Indice de Diaclasado	9.00
Jr	Indice de Rugosidad de las Discontinuidades	0.75
Ja	Indice de Alteración de Discontinuidades	1.00
Jw	Factor de Reducción por la presencia del agua	1.00
SRF	Condiciones tensionales de la Roca	2.50

Indice Q	Valor
$Q = \frac{RQD}{Jn} \times \frac{Jr}{Ja} \times \frac{Jw}{SRF}$ <p style="text-align: center;"> <small>tamaño del bloque medio resistencia al corte en bloques tensión activa o eficaz</small> </p>	1.167

Criterios para los Valores de Q	Q	Nuestro Caso
Roca Excepcionalmente mala	0,001 - 0,01	Roca mala
Roca Extremadamente mala	0,01 - 0,1	
Roca muy mala	0,1 - 1	
Roca mala	1,0 - 4,0	
Roca media	4,0 - 10,0	
Roca buena	10,0 - 40,0	
Roca muy buena	40,0 - 100,0	
Roca Extremadamente buena	100,0 - 400,0	
Roca Excepcionalmente buena	400, - 1000,0	

**VALORACION DEL MACIZO ROCOSO
CLASIFICACIÓN GEOMECANICA DE BARTON - INDICE Q**

NOMBRE DEL PROYECTO : Estudio Definitivo de las Obras de Estabilización Seleccionadas para el Derrumbe 5

CODIGO DEL PROYECTO : 093300

FECHA : Noviembre, 2009

UBICACIÓN : Poza final del Canal Proyectado

REALIZADO : E.M.B

NOMBRE DE LA ROCA : Pizarra Carbonosa

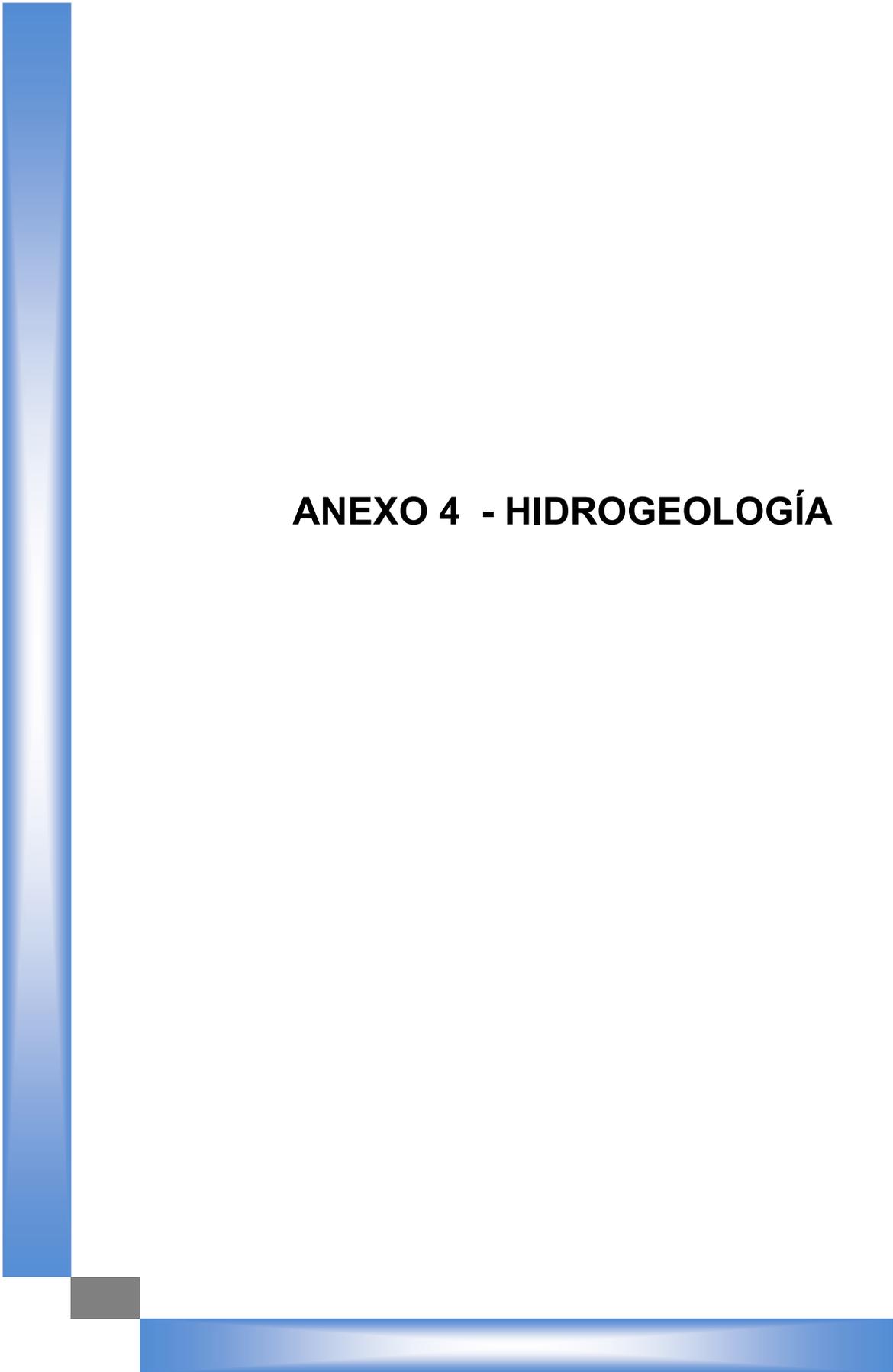
REVISADO : H.S.D

CODIGO DE MUESTREO : EG-3

Parámetros de Q	Parametros Característicos del Indice Q	Valor
<i>RQD</i> (%)	Calidad del Testigo	10.00
<i>Jn</i>	Indice de Diaclasado	9.00
<i>Jr</i>	Indice de Rugosidad de las Discontinuidades	0.75
<i>Ja</i>	Indice de Alteración de Discontinuidades	1.00
<i>Jw</i>	Factor de Reducción por la presencia del agua	1.00
<i>SRF</i>	Condiciones tensionales de la Roca	1.00

Indice Q	Valor
$Q = \frac{RQD}{Jn} \times \frac{Jr}{Ja} \times \frac{Jw}{SRF}$ <p style="text-align: center;"> <small>tamaño del bloque medio resistencia al corte en bloques tensión activa o eficaz</small> </p>	0.833

Criterios para los Valores de Q	Q	Nuestro Caso
Roca Excepcionalmente mala	0,001 - 0,01	Roca muy mala
Roca Extremadamente mala	0,01 - 0,1	
Roca muy mala	0,1 - 1	
Roca mala	1,0 - 4,0	
Roca media	4,0 - 10,0	
Roca buena	10,0 - 40,0	
Roca muy buena	40,0 - 100,0	
Roca Extremadamente buena	100,0 - 400,0	
Roca Excepcionalmente buena	400, - 1000,0	



ANEXO 4 - HIDROGEOLOGÍA

Tubo de Drenaje Dreno 2"

Vista 1. Se aprecia el ranurado del Dreno 2".

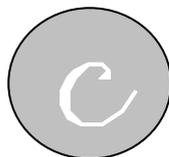


Vista 2. Se aprecia las características del empalme del Dreno 2".



Vista 3. Se aprecia la forma del diámetro, así como el espesor del Dreno 2".





Hoja Técnica

CONSOLIDACIÓN DEL TERRENO

PRODUCTO

DRENO 2''

Cod. B13001

DESCRIPCIÓN



Tubo drenante corrugado - microfisurado elaborado a base de polímeros. Está formado con un sistema innovador de empalme rápido que agiliza su manejo en la operación. El polímero empleado permite el drenaje aún si ocurriera un eventual daño de la sección del tubo.

CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS



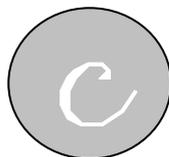
Características del perfil

Φ_{ext} [mm]	Φ_{int} [mm]	Sup. Abierta [mm ² /m]	Longitud de ranura [mm]	Disposición de ranura [°]
62	50	6912	0,50 - 0,70	4 a 90°

EMBALAJE



Producto en barra de longitud estándar (0,5/1,0/1,5/3,6 m) presentados en paquetes de 100 unidades.



Hoja Técnica

CONSOLIDACIÓN DEL TERRENO

PRODUCTO

DRENO 2" TNT 150

Cod. B13003

DESCRIPCIÓN



Tubo drenante corrugado - microfisurado en material plástico con filtro de revestimiento ó geotextil. Está provisto de un sistema innovador de empalme rápido que agiliza su manejo en la operación. El polímero empleado permite el drenaje aún si ocurriera un eventual daño de la sección del tubo. El tubo filtrante rígido microfisurado corrugado, denominado "DRENO 2", es un producto elaborado de Polietileno de alta densidad, permitiendo su empleo desde drenar aguas subterráneas hasta su uso industrial y alimentario. El Eraclene MP 94 cumple con el reglamento de la Unión Europea, como también en otros países, relativo al uso del material plástico que deberá estar en contacto con el producto alimentario. El certificado de conformidad está disponible a su solicitud.

CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS



Características del material

Característica	Valor	U.M.
Gramaje	150	gm ²
Resistencia a la tracción	5,7 - 6,0	kN/m
Resistencia al punzonamiento	1,3	kN
Diámetro de filtración	56	micron
Permeabilidad	>90	l/m ² s

Características del perfil

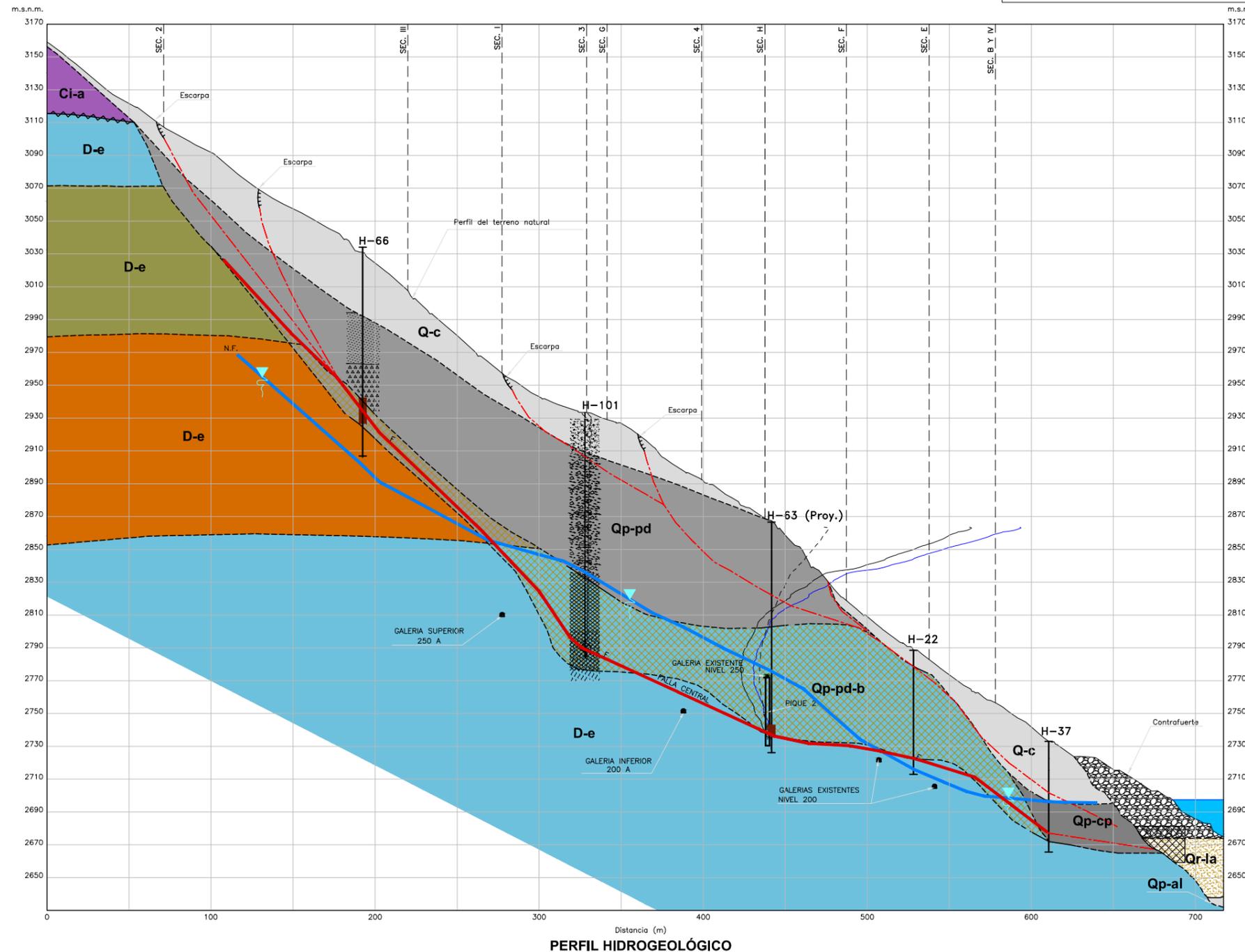
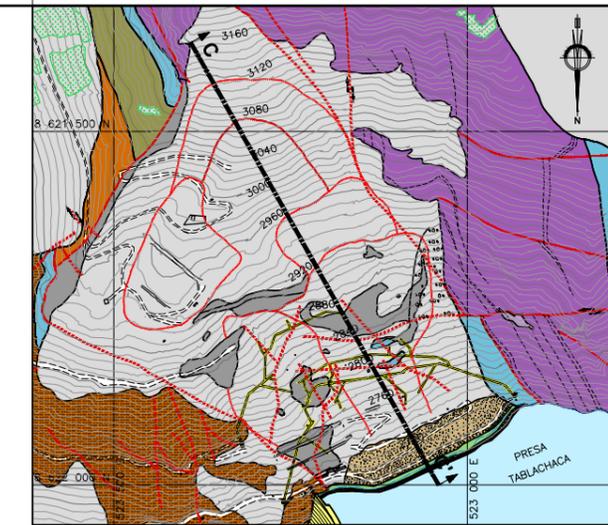
Φ_{ext} [mm]	Φ_{int} [mm]	Sup. Abierta [mm ² /m]	Longitud de ranura [mm]	Disposición de ranura [°]
62	50	6912	0,50 - 0,70	4 a 90°

EMBALAJE



Producto en barra de longitud estándar (0,5/1,0/1,5/3,6 m) presentados en paquetes de 100 unidades

SIMBOLOGÍA	
	Falla geológica
	Contacto litológico inferido
	Discordancia
	Galerías existentes nivel 250 y nivel 200
	Galerías propuesta Revisión D
	H-53 Perforación diamantina ejecutada
	Superficie de deslizamiento
	Nivel freático actual
	Limite de brecha en registro de perforación
	Registro de inclinometro
	Escarpa
	Contrafuerte
	Columnas de Grava



PERFIL HIDROGEOLOGICO

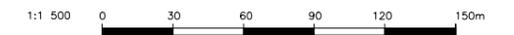
UBICACIÓN
1:5 000

LEYENDA

CUATERNARIO	
	(Qr-la) Sedimentos Lagunares: Arena arcillosa con intercalaciones de limo y grava (embalse).
	(Q-c) Coluvial: Fragmentos sueltos, tamaño grava gruesa y media, en matriz limo-arcillosa-arenosa.
	(Qp-pd) Paleoderrumbas: Bloques de esquistos muy fracturados a triturados con finos de limo-arcillosos gravosos. Espesor hasta 100 m.
	(Qp-pd-b) Brecha: Bloques de cuarcitas y filitas, muy fracturadas, de forma subangulosos, de color gris.
	(Qp-cp) Coluvial de Pizarra: Conformado por arcilla negra, dureza media con planos de fricción, con algunos bloques de pizarra meteorizada intemperizada, espesor hasta 40 m. En el contacto inferior arcilla hasta de 1,50 m de espesor.
	(Qp-al) Aluvial: Cantos, gravas arenas y limos arcillosos, de pizarra, esquistos, cuarcita, toba riolítica y andesita.
CARBONIANO INFERIOR MEDIO	
	(Ci-a) Grupo Ambo: Metagrauwaca, metareniscas y filitas
DEVONIANO-Grupo Excelsior	
	(D-e) Pizarra
	(D-e) Cuarcita
	(D-e) Esquisto
INTERPRETACION DE PERFORACIONES DIAMANTINAS	
INGETEC-SVS H-22, H-37, H-63, H-66	CESEL H-101
	Fragmentos en matriz fina
	Bloques de metarenisca
	Bloques de esquistos o cuarcita
	Bloques de pizarra o zona blanda
	Dep. coluviales recientes. Arena gravosa medianamente densa
	Fragmentos angulosos de filita cuarcítica con horizontes de grava angulosos
	Pizarra negra triturada y cizallada
	Bloques de pizarra o zona blanda

NOTAS :

- LA ESCALA GRAFICA MOSTRADA ES PARA EL FORMATO A-1, PARA A-3 CONSIDERAR EL DOBLE
- DIMENSIONES EN MILIMETROS Y NIVELES EN METROS, SALVO INDICADO.
- USAR SOLO DIMENSIONES INDICADAS EN LOS PLANOS.

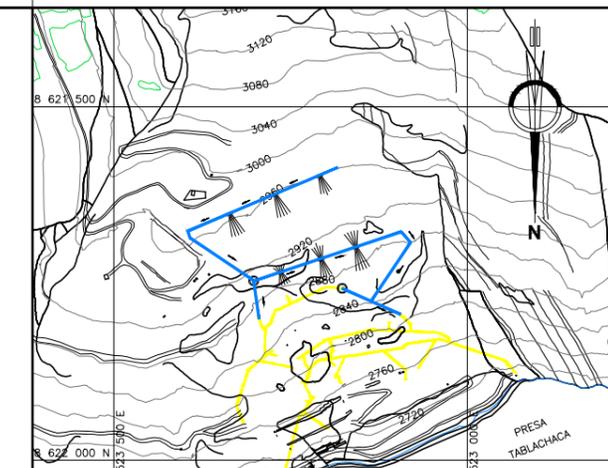
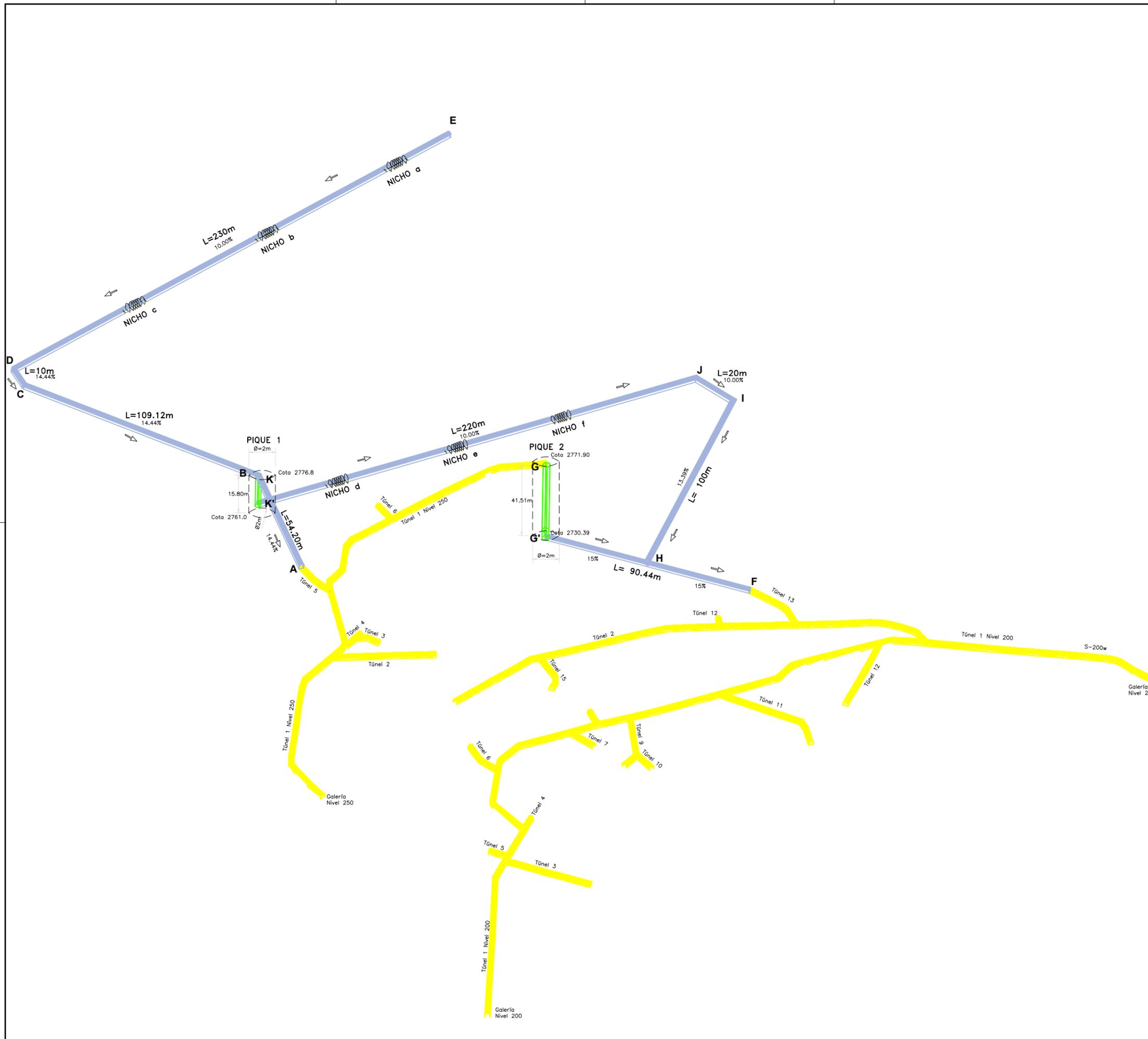


REV. N°	FECHA	DESCRIPCION	REVISO	APROBO
0	13/01/10	EMITIDO PARA CONSTRUCCIÓN	H.S.D.	H.S.A.



PROYECTO:		"Estudio Definitivo de las Obras de Estabilización Seleccionadas para El Derrumbe - 5"	
TITULO:		HIDROGEOLOGIA	
DERRUMBE 5 PERFIL HIDROGEOLOGICO		PLANO N°: CSL-093300-2-HG-001	
ELABORO :	REVISO :	ESCALA :	REV. :
R.M.G.	E.M.B	1 : 1 500	0
DIBUJO :	APROBO :	FECHA :	TRABAJO :
M.I.C.	H.S.D.	FEB-2010	093300





SIMBOLOGÍA	
	Pique 1 proyectado para ventilación
	Pique 2 proyectado para drenaje
	Dirección de flujo de agua
	Tramo de galería
	Díámetro de pique 1 y 2
	Metros lineales

NOTAS :
 1.- LA ESCALA GRAFICA MOSTRADA ES PARA EL FORMATO A-1, PARA A-3 CONSIDERAR EL DOBLE
 2.- DIMENSIONES EN MILIMETROS Y NIVELES EN METROS, SALVO INDICADO.
 3.- USAR SOLO DIMENSIONES INDICADAS EN LOS PLANOS.



REV. N°	FECHA	DESCRIPCION	REVISO	APROBO
0	17/03/10	EMITIDO PARA CONSTRUCCIÓN	E.M.B.	H.S.D.

electroperu
la energía de los peruanos

PROYECTO: **"Estudio Definitivo de las Obras de Estabilización Seleccionadas para El Derrumbe - 5"**

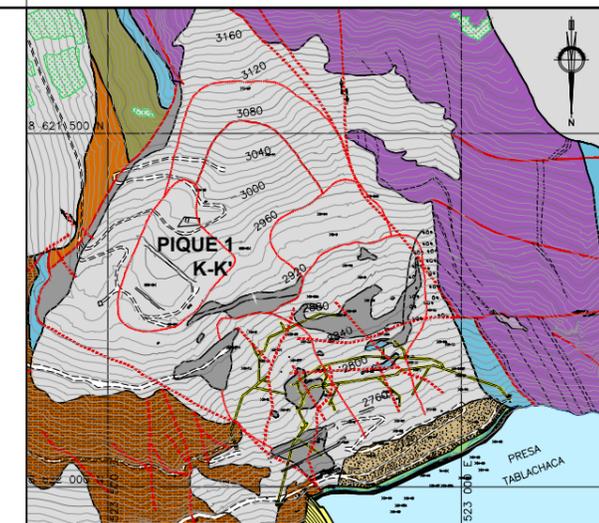
GEOTECNIA

TITULO: DIAGRAMA DE FLUJO DE DESCARGA DE SISTEMA PROYECTADO	PLANO N°: LAMINA N°1
---	--------------------------------

ELABORO : R.M.G.	REVISO : E.M.B.	ESCALA : INDICADA	REV. : 0
DIBUJO : M.I.G.	APROBO : H.S.D.	FECHA : MAR. 2 010	TRABAJO : 093300

CESEL
INGENIEROS

COLUMNA ESTRATIGRÁFICA GENERALIZADA PIQUE 1 NIVEL 250						
ERA	SISTEMA	SERIE	UNIDAD LITOSTRATIGRÁFICA	ESPESOR (m)	COLUMNA	LITOLÓGIA
CENOZOICO	CUATERNARIO	PLEISTOCENO	PALEODERRUMBE	88m	H-30A proyectado Qp-pd	Bloques de filita, foliado, meteorizado, rugoso, moderadamente oxidado, muy fracturado, relleno de limo arenoso, estructura compacta, textura afanítica, de color gris. Bloques de cuarcita, moderadamente meteorizado, rugoso, ligeramente oxidado, muy fracturado, relleno de limo arenoso, estructura masiva, textura equigranular, porfírico, de color gris.
			GRUPO EXCELSIOR	6.6m	D-e	Pizarra silícea, muy foliado, ligeramente meteorizado, rugoso pulido, ligeramente oxidado en las paredes de las diacclas, fracturado, relleno de arcilla limonosa, muy húmedo, en el plano de fallas locales estructura compacta, textura fanerítica, de grano fino, de color gris.
			BRECHA	7m	Qp-bcp	Bloques de cuarcita y pizarra, moderadamente meteorizado, rugoso, oxidado en las paredes de las diacclas y fracturas (hematita, limonita), muy fracturado, relleno de limo arenoso, muy húmedo, estructura masiva, textura equigranular, porfírico, de color gris.
PALEOZOICO	DEVONIANO		GRUPO EXCELSIOR (Basamento rocoso)	26.4m 2778.80m 15.80m 2761.00m 41m	N.F. K D-e K'	Detritos de roca (Contacto basamento - brecha), filita, pizarra carbonosa y esquistos en una matriz de limo arcilloso y de forma anguloso a subanguloso, compacidad suelta a media, muy húmedo a mojado, de color beige. Pizarra carbonosa, foliado, ligeramente meteorizado, rugoso pulido, ligeramente oxidado en las paredes de las diacclas, fracturado, relleno de arcilla limosa, saturado, en el plano de fallas locales estructura compacta, textura fanerítica, de grano fino, de color gris. Esquisto muy foliado, ligeramente meteorizado rugoso pulido, ligeramente oxidado en las paredes de las diacclas, fracturado, relleno de arcilla limonosa, saturado, en el plano de fallas locales estructura compacta, textura fanerítica, de grano fino, de color gris.



UBICACIÓN
1:5 000

LEYENDA	
CUATERNARIO PLEISTOCENO	
	(Qp-pd) Paleoderrumbe: Bloques de esquistos muy fracturados a triturados con finos de limo-arcillosos gravosos. Espesor hasta 100 m.
	(Qp-bcp) Brecha de cuarcita y pizarra
DEVONIANO-Grupo Excelsior	
	(D-e) Pizarra

SIMBOLOGÍA	
	F Falla geológica
	Contacto litológico
	H-30A Perforación proyectada
	Superficie de deslizamiento
	NF Nivel freático actual
	H-30A Registro de inclinómetro
	K K' Galería Nivel 250 Pique 1 de drenaje.

- NOTAS :**
- LA ESCALA GRAFICA MOSTRADA ES PARA EL FORMATO A-1, PARA A-3 CONSIDERAR EL DOBLE
 - DIMENSIONES EN MILIMETROS Y NIVELES EN METROS, SALVO INDICADO.
 - USAR SOLO DIMENSIONES INDICADAS EN LOS PLANOS.



REV. N°	FECHA	DESCRIPCION	REVISO	APROBO
0	10/02/10	EMITIDO PARA CONSTRUCCIÓN	H.S.D.	H.S.A.

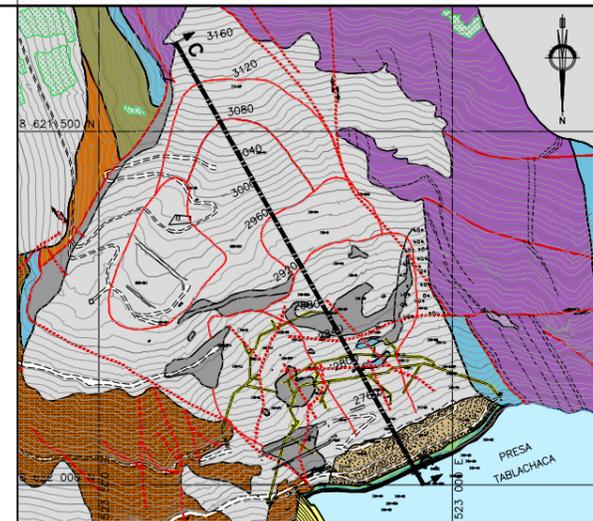
la energía de los peruanos

PROYECTO: **"Estudio Definitivo de las Obras de Estabilización Seleccionadas para El Derrumbe - 5"**

GEOLOGÍA

TITULO: COLUMNA ESTRATIGRÁFICA PIQUE 1 NIVEL 250	PLANO N°: LAMINA N°2
CESEL INGENIEROS	ELABORO : E.M.B. DIBUJO : E.Q.E.
REVISO : H.S.D. APROBO : H.S.A.	REVISO : 0
ESCALA : 1 : 1 500 FECHA : FEB-2010	TRABAJO : 093300

COLUMNA ESTRATIGRÁFICA GENERALIZADA PIQUE 2 NIVEL 250						
ERA	SISTEMA	SERIE	UNIDAD LITOESTRATIGRÁFICA	ESPESOR (m)	COLUMNA	LITOLÓGÍA
CENOZOICO	CUATERNARIO	PLEISTOCENO	COLUVIAL	8m	Q-c	Fragmentos de roca, metarenisca, filitas, cuarcita, en una matriz limo arcillosa, húmeda, mediana plasticidad, suelta, de color beige.
			PALEODERRUMBE	65m	H-63 Qp-pd	Bloques de filita, foliado, meteorizado, rugoso, moderadamente oxidado, muy fracturado, relleno de limo arenoso, estructura compacta, textura afanítica, de color gris. Bloques de cuarcita, moderadamente meteorizado, rugoso, ligeramente oxidado, muy fracturado, relleno de limo arenoso, estructura masiva, textura equigranular, porfirítico, de color gris. Bloques de esquistos muy foliado, meteorizado, rugoso, ligeramente oxidado, fracturado, relleno de limo arcilloso, estructura compacta, fractura equigranular, porfirítico, de color gris.
			BRECHA	66m	N.F. G Qp-bcp	Bloques de cuarcita, moderadamente meteorizado, rugoso, oxidado en las paredes de las diaclosas (hematita, limonita), muy fracturado, sin relleno, muy húmedo, estructura masiva, textura equigranular, porfirítico, de color gris. Bloques de pizarra, foliado, moderadamente meteorizado, rugoso pulido, oxidado en las paredes de las diaclosas, fracturado, relleno de arcilla limonosa, saturado, estructura moderadamente compacta, textura fanerítica, de grano fino, de color gris. Detritos de roca filita, pizarra carbonosa y esquistos en una matriz de limo arcilloso, de forma anguloso a subanguloso, compacidad suelta a media, saturada, de color beige.
PALEOZOICO	DEVONIANO		GRUPO EXCELSIOR (BASAMENTO ROCOSO)	100m	G' D-e	Pizarra carbonosa, foliado ligeramente meteorizado, rugoso pulido, ligeramente oxidado en las paredes de las diaclosas, moderadamente fracturado, relleno de arcilla limosa, saturado, en el plano de fallas locales estructura compacta, textura fanerítica, de grano fino, de color gris. Esquistos muy foliados, ligeramente meteorizados, rugosos pulidos, ligeramente oxidados en las paredes de las diaclosas, fracturados, rellenos de arcilla limonosa, saturados, en el plano de fallas locales, contacto basamento - brecha, estructura compacta, textura fanerítica, de grano fino, de color gris.



UBICACIÓN
1:5 000

LEYENDA

CUATERNARIO PLEISTOCENO

- (Qp-pd) Coluvial: Fragmentos sueltos, tamaño grava gruesa y media, en matriz limo - arcillosa - arenosa.
- (Qp-pd) Paleoderrumbe: Bloques de esquistos muy fracturados o triturados con finos de limo-arcillosos gravosos. Espesor hasta 100 m.
- (Qp-bcp) Brecha de cuarcita y pizarra

DEVONIANO-Grupo Excelsior

- (D-e) Pizarra

SIMBOLOGÍA

- F Falla geológica
- Contacto litológico
- H-63 Perforación ejecutada
- Superficie de deslizamiento
- NF Nivel freático actual
- H-63 Registro de inclinómetro
- Galería Nivel 250
Pique 2 de drenaje.
- Detritos de Brecha

NOTAS :

- 1.- LA ESCALA GRAFICA MOSTRADA ES PARA EL FORMATO A-1, PARA A-3 CONSIDERAR EL DOBLE
- 2.- DIMENSIONES EN MILIMETROS Y NIVELES EN METROS, SALVO INDICADO.
- 3.- USAR SOLO DIMENSIONES INDICADAS EN LOS PLANOS.



0	10/02/10	EMITIDO PARA CONSTRUCCIÓN	E.M.B.	H.S.D.
REV. N°	FECHA	DESCRIPCION	REVISO	APROBO



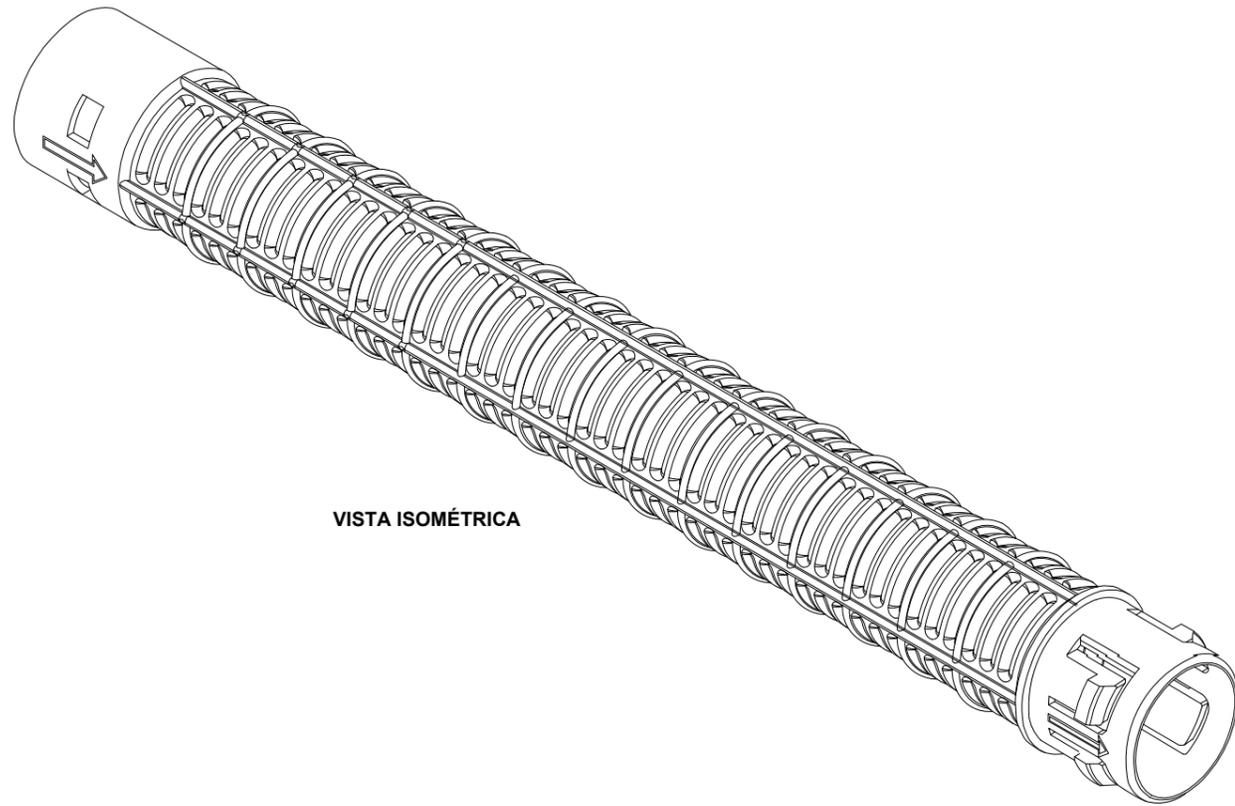
PROYECTO: "Estudio Definitivo de las Obras de Estabilización Seleccionadas para El Derrumbe - 5"

GEOLOGÍA

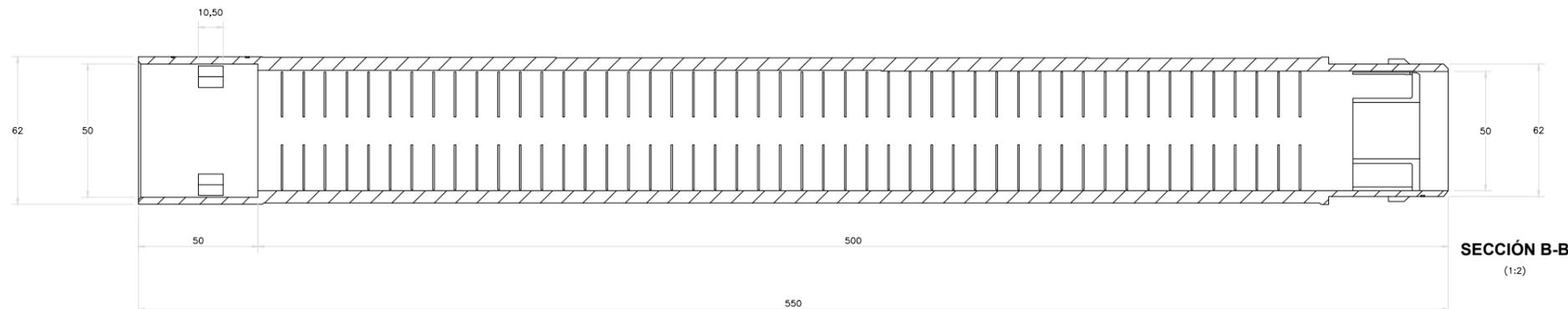
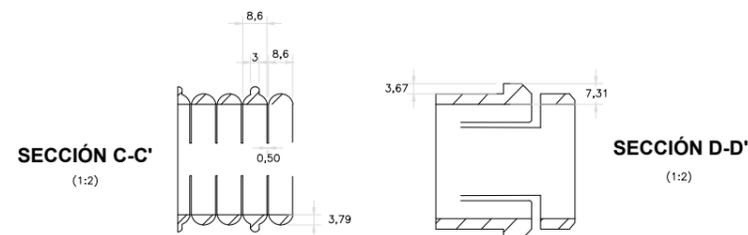
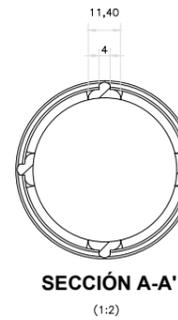
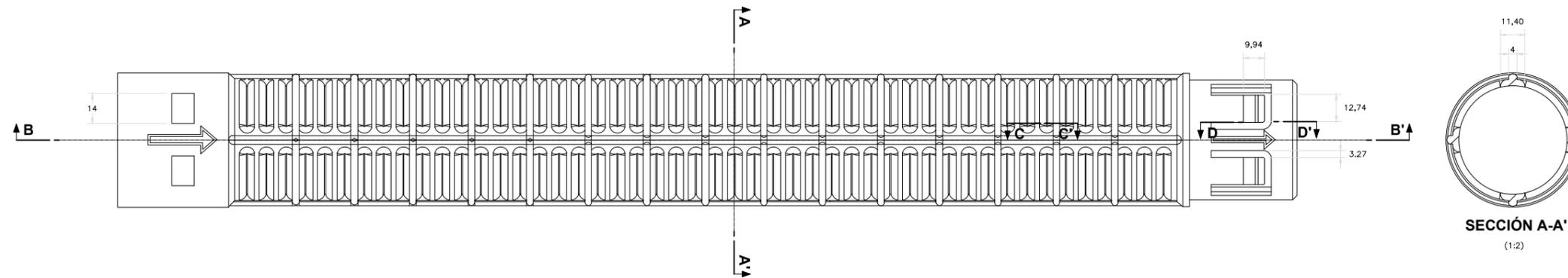
TITULO:	COLUMNA ESTRATIGRÁFICA PIQUE 2 NIVEL 250	PLANO N°:	LAMINA N°3
---------	---	-----------	------------

ELABORO :	REVISO :	ESCALA :	REV. :
E.M.B.	E.M.B.	1 : 1 500	0
DIBUJO :	APROBO :	FECHA :	TRABAJO :
E.O.E.	H.S.D.	FEB-2010	093300





VISTA ISOMÉTRICA



NOTAS :
 1.- LA ESCALA GRAFICA MOSTRADA ES PARA EL FORMATO A-1, PARA A-3 CONSIDERAR EL DOBLE
 2.- DIMENSIONES Y NIVELES EN METROS, SALVO INDICADO.
 3.- USAR SOLO DIMENSIONES INDICADAS EN LOS PLANOS.



REV. N°	FECHA	DESCRIPCION	REVISO	APROBO
A	17/03/10	EMITIDO PARA CONSTRUCCIÓN	W.T.J.	H.S.D.

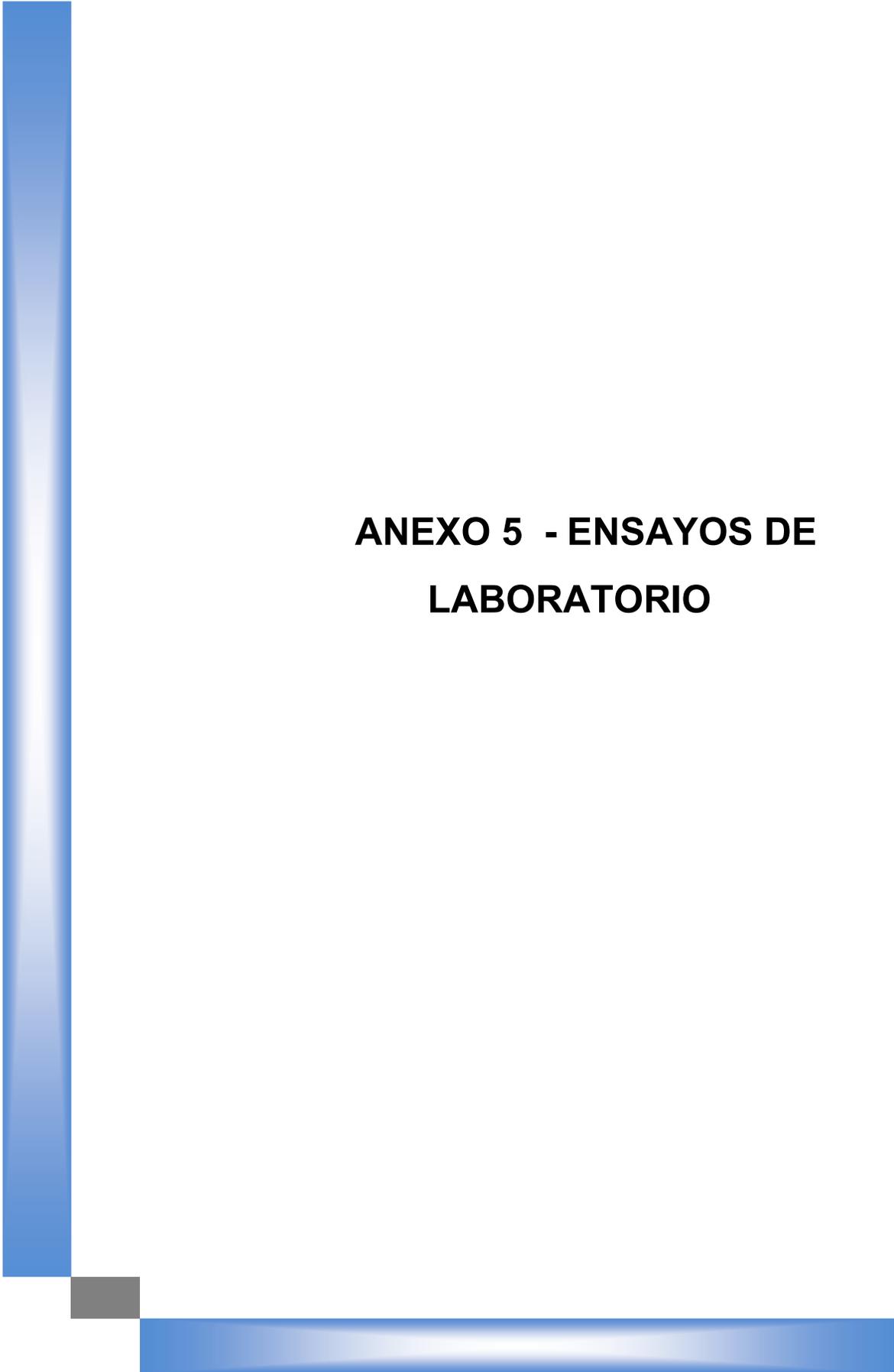


PROYECTO: "Estudio Definitivo de las Obras de Estabilización Seleccionadas para El Derrumbe - 5"
 GEOTECNIA

TITULO: TUBO TIPO DE DRENAJE PROPUESTO
 PLANO N°: LAMINA N°4

ELABORO : R.M.G.	REVISO : W.T.J.	ESCALA : 1 : 1 250	REV. : 0
DIBUJO : E.O.E.	APROBO : H.S.D.	FECHA : MAR. 2 010	TRABAJO : 093300





**ANEXO 5 - ENSAYOS DE
LABORATORIO**

 CESEL INGENIEROS LABORATORIO GEOTÉCNICO Y DE CONCRETO	REGISTRO	Código: LGC-P-01-G4-F1-S Versión: 01 Aprobado: CSGILGC Fecha: 15/05/2009 Página: 1 de 1
	INFORME DE RESULTADO DE ENSAYOS	

Informe Nº : **LGC-09-138**

Fecha de Emisión : **19/08/2009**

**ENSAYO DE CARGA PUNTUAL
(ASTM D 5731-02)**

Código del proyecto : 093300

Fecha de recepción : 08/06/2009

Solicitante : Ing. Evaristo Minaya Basilio

Proyecto : Estudio Definitivo de las Obras de Estabilización Seleccionadas para el Derrumbe 5

Ubicación : Tablachaca - Huancavelica

Sondaje : T - 1

Muestra : M - 1

Profundidad (m): 0.00 - 1.50

Tipo de roca : ---

GEOMETRIA DE LA MUESTRA

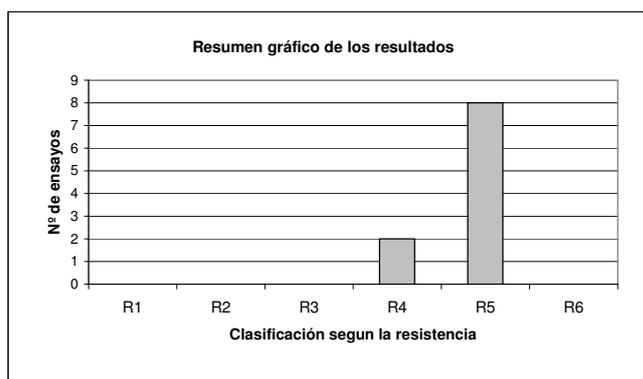
Nº	Forma de la muestra	Carga aplicada	L (mm)	D (mm)	W1(*) (mm)	W2 (mm)
1	I	⊥	40,70	35,20	62,40	64,90
2	I	⊥	40,50	34,80	66,60	70,20
3	I	⊥	41,40	33,60	71,20	81,60
4	I	⊥	42,50	35,20	78,40	82,40
5	I	⊥	41,20	35,40	74,90	80,60
6	I	⊥	39,60	30,90	53,50	60,80
7	I	⊥	40,60	34,90	60,20	62,70
8	I	⊥	41,40	35,60	65,40	67,20
9	I	⊥	38,60	35,10	53,40	58,60
10	I	⊥	40,20	36,20	60,10	62,40

Leyenda

⊥ : Carga aplicada de forma perpendicular a la muestra

// : Carga aplicada de forma paralela a la muestra

Nº	Diámetro equivalente D _e ² (mm ²)	Presión Hidráulica P _{fall} (kN)	I _s Calculado (MPa)	Factor de corrección F	I _{s(60)} Corregido (MPa)	σ _c Calculado (MPa)	Clasificación	Tipo de rotura
1	2852,67	13,96	4,9	1,03	5,0	121	R5	C
2	3030,72	11,06	3,6	1,04	3,8	91	R4	C
3	3268,46	18,37	5,6	1,06	6,0	143	R5	C
4	3603,37	16,31	4,5	1,09	4,9	118	R5	C
5	3504,40	16,19	4,6	1,08	5,0	120	R5	C
6	2248,46	9,66	4,3	0,98	4,2	101	R5	C
7	2730,60	8,75	3,2	1,02	3,3	78	R4	C
8	3005,20	16,38	5,5	1,04	5,7	136	R5	C
9	2502,68	10,67	4,3	1,00	4,3	102	R5	C
10	2823,09	13,23	4,7	1,03	4,8	116	R5	C



Resultados del ensayo

σ_{c ⊥} (máx) : 143 MPa (R5)
 σ_{c ⊥} (mín) : 78 MPa (R4)
 σ_{c ⊥} (prom) : 112 MPa (R5)

σ_{c //} (máx) : ---
 σ_{c //} (mín) : ---
 σ_{c //} (prom) : ---

Nomenclatura :

R1 : Roca muy débil 1,0 - 5,0 Mpa
 R2 : Roca débil 5,0 - 25,0 Mpa
 R3 : Roca media 25,0 - 50,0 Mpa
 R4 : Roca dura 50,0 - 100,0 Mpa
 R5 : Roca muy dura 100,0 - 250,0 Mpa
 R6 : Roca extremadamente dura > 250 Mpa

Tipos de rotura

A (Diametrales)	
B (Axiales)	
C (Bloque)	
D (No válidos)	

Observaciones :

- Las muestras cumplen con las dimensiones exigidas por la norma

- Las muestras provienen de la cantera de roca Ahuaycha Casay (CA-1)

 CESEL INGENIEROS LABORATORIO GEOTÉCNICO Y DE CONCRETO	REGISTRO	Código: LGC-P-01-G4-F2-S Versión: 00 Aprobado: CSGILGC Fecha: 15/05/2009 Página: 1 de 1
	INFORME DE RESULTADO DE ENSAYOS	

N° de informe : **LGC-09-138**

Fecha de Emisión : 19/08/2009

Código de proyecto: 093300

Fecha de recepción: 08/06/2009

Solicitante: Ing. Evaristo Minaya Basilio

Proyecto: Estudio Definitivo de las Obras de Estabilización Seleccionadas para el Derrumbe 5

Ubicación: Tablachaca - Huancavelica

Datos de la muestra

Sondeo: T - 1

Muestra: M - 1

Profundidad (m): 0.00 - 1.50

Tipo de roca: ---

Propiedades físicas de las rocas

Resultados

Gravedad específica y absorción de la roca

ASTM D 6473

Gravedad específica nominal: 2,71

Gravedad específica nominal (s.s.s.): 2,73

Gravedad específica aparente: 2,78

Absorción (%): 0,95

Densidad de la roca

NTP 339.139 / ASTM D 2937

Densidad de la roca (gr/cm3): 2,7

Densidad de la roca seca (gr/cm3): 2,69

Observaciones:

- La muestra proviene de la cantera de roca Ahuaycha Casay (CA-1)

Informe Nº : LGC-09-161

Fecha de Emisión : 07/09/2009

**ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO PARA AGREGADO
NTP 400,012/ASTM C 136**

Código del proyecto : 093300

Fecha de recepción : 26/08/2009

Solicitante : Ing. Evaristo Minaya Basilio

Proyecto : Estudio Definitivo de las Obras de Estabilización Seleccionadas para el Derrumbe 5

Ubicación : Pampas-Tayacaja-Huancavelica

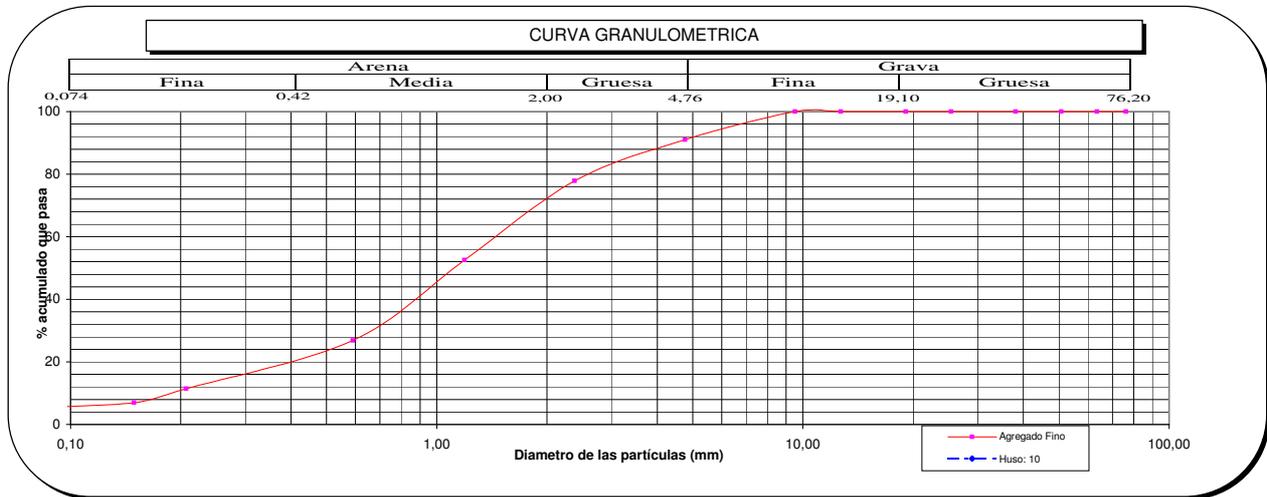
Cantera : Mantaca (CA-2)
Sondeo : T-1
Muestra : M-1
Profundidad (m) : 0.00-1.20

Malla	Abertura (mm)		Acumulado		% Retenido en cada tamiz
	Nº	Abertura (mm)	% que pasa	% retenido	
3"	76,200	100,0	0,0	0,0	
2 1/2"	63,5	100,0	0,0	0,0	
2"	50,800	100,0	0,0	0,0	
1 1/2"	38,100	100,0	0,0	0,0	
1"	25,400	100,0	0,0	0,0	
3/4"	19,100	100,0	0,0	0,0	
1/2"	12,700	100,0	0,0	0,0	
3/8"	9,520	100,0	0,0	0,0	
Nº 4	4,760	91,1	8,9	8,9	
Nº 8	2,380	77,8	22,2	13,2	
Nº 16	1,190	52,5	47,5	25,3	
Nº 30	0,590	26,8	73,2	25,7	
Nº 50	0,207	11,4	88,6	15,4	
Nº 100	0,149	6,9	93,1	4,5	
Nº 200	0,074	5,2	94,8	1,7	

Distribución Granulométrica

% Grava	GG%	0,0
	GF%	8,9
% Arena	AG%	13,2
	AM%	51,0
	AF%	21,6
% Finos		5,2

Módulo de Fineza : 3,33



Observaciones :



Informe N° : LGC-09-161

Fecha de Emisión : 07/09/2009

**ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO PARA AGREGADO
 NTP 400,012/ASTM C 136**

Código del proyecto : 093300

Fecha de recepción : 26/08/2009

Solicitante : Ing. Evaristo Minaya Basilio

Proyecto : Estudio Definitivo de las Obras de Estabilización Seleccionadas para el Derrumbe 5

Ubicación : Pampas-Tayacaja-Huancavelica

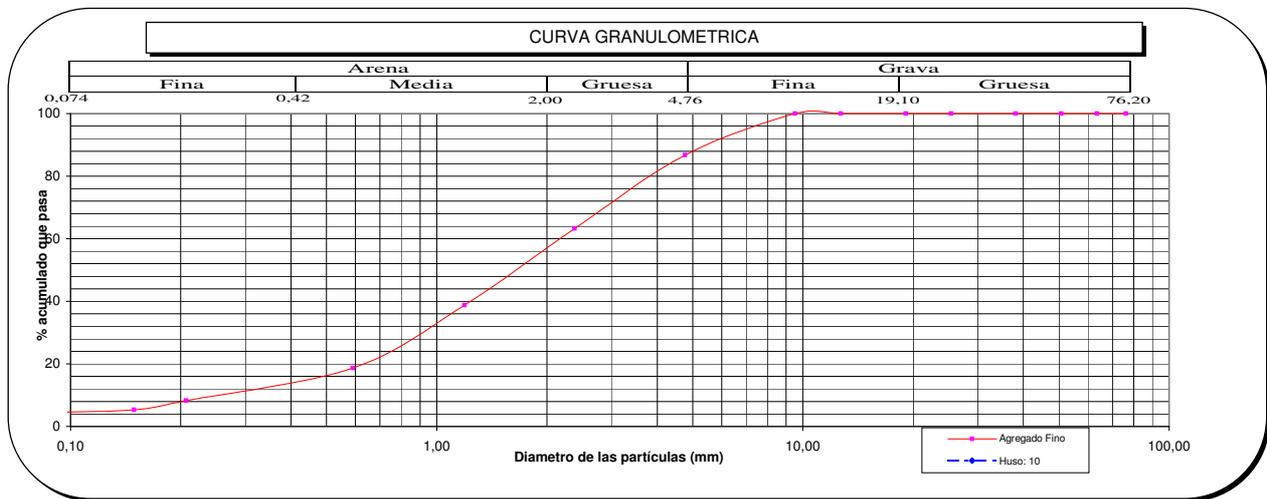
Cantera : Mantaca (CA-3)
 Sondeo : T-1
 Muestra : M-1
 Profundidad (m) : 0.00-1.20

	Malla		Acumulado		% Retenido en cada tamiz
	N°	Abertura (mm)	% que pasa	% retenido	
PORCENTAJE ACUMULADO QUE PASA (%)	3"	76,200	100,0	0,0	0,0
	2 1/2"	63,5	100,0	0,0	0,0
	2"	50,800	100,0	0,0	0,0
	1 1/2"	38,100	100,0	0,0	0,0
	1"	25,400	100,0	0,0	0,0
	3/4"	19,100	100,0	0,0	0,0
	1/2"	12,700	100,0	0,0	0,0
	3/8"	9,520	100,0	0,0	0,0
	N° 4	4,760	86,7	13,3	13,3
	N° 8	2,380	63,2	36,8	23,5
	N° 16	1,190	38,8	61,2	24,5
	N° 30	0,590	18,7	81,3	20,0
	N° 50	0,207	8,2	91,8	10,5
	N° 100	0,149	5,3	94,7	2,9
	N° 200	0,074	4,3	95,7	1,0

Distribución Granulométrica

% Grava	GG%	0,0
	GF%	13,3
% Arena	AG%	23,5
	AM%	44,5
% Finos	AF%	14,4
		4,3

Módulo de Fineza : 3,79



Observaciones :

.....



 CESEL INGENIEROS LABORATORIO GEOTÉCNICO Y DE CONCRETO	REGISTRO	Código: LGC-P-01-G3-F2-S Versión: 01 Aprobado: CSGILGC Fecha: 15/05/2009 Página: 1 de 1
	INFORME DE RESULTADO DE ENSAYOS	

N° de informe : **LGC-09-161**

Fecha de Emisión : 07/09/2009

Código de proyecto: 093300

Fecha de recepción: 26/08/2009

Solicitante: Ing. Evaristo Minaya Basilio

Proyecto:

Estudio Definitivo de las Obras de Estabilización Seleccionadas para el Derrumbe 5

Ubicación: Pampas-Tayacaja-Huancavelica

Datos de la muestra

Sondeo: T-1

Muestra: M-1

Profundidad (m): 0.00-1.20

Cantera: Mantacra (CA-2)

Ensayos realizados

Resultados

Material que pasa la malla N° 200

4,9 %

NTP 400.018 / ASTM C 117-04

Equivalente de arena

73 %

NTP 339.146 / ASTM D 2419-02

Impurezas orgánicas en agregado fino para concreto (método Gardner)

No presenta

NTP 400.024 / ASTM C 40-04

Observaciones:



 CESEL INGENIEROS LABORATORIO GEOTÉCNICO Y DE CONCRETO	REGISTRO	Código: LGC-P-01-G3-F2-S Versión: 01 Aprobado: CSGILGC Fecha: 15/05/2009 Página: 1 de 1
	INFORME DE RESULTADO DE ENSAYOS	

N° de informe : **LGC-09-161**

Fecha de Emisión : 07/09/2009

Código de proyecto: 093300

Fecha de recepción: 26/08/2009

Solicitante: Ing. Evaristo Minaya Basilio

Proyecto:

Estudio Definitivo de las Obras de Estabilización Seleccionadas para el Derrumbe 5

Ubicación: Pampas-Tayacaja-Huancavelica

Datos de la muestra

Sondeo: T-1

Muestra: M-1

Profundidad (m): 0.00-1.20

Cantera: Mantacra (CA-3)

Ensayos realizados

Resultados

Material que pasa la malla N° 200

NTP 400.018 / ASTM C 117-04

3,9 %

Equivalente de arena

NTP 339.146 / ASTM D 2419-02

80 %

Impurezas orgánicas en agregado fino para concreto (método Gardner)

NTP 400.024 / ASTM C 40-04

No presenta

Observaciones:



	REGISTRO	Código: LGC-P-01-G3-F3-S Versión: 01 Aprobado: CSGILGC Fecha: 15/05/2009 Página: 1 de 1
	INFORME DE RESULTADO DE ENSAYOS	

N° de informe : *LGC-09-161*

Fecha de Emisión : 10/09/2009

Código de proyecto: 093300

Fecha de ejecución: 26/08/2009

Solicitante: Ing. Evaristo Minaya Basilio

Proyecto: Estudio Definitivo de las Obras de Estabilización Seleccionadas para el Derrumbe 5

Ubicación: Pampas-Tayacaja-Huancavelica

Datos de la muestra

Sondeo: T-1

Muestra: M-1

Profundidad (m): 0.00-1.20

Cantera: Mantacra (CA-2)

Tipo de agregado: Fino

Ensayos realizados

Durabilidad con sulfato de sodio o sulfato de magnesio

NTP 400.016 / ASTM C 88

Perdida total en el agregado fino:

8, %

Observaciones:



 CESEL INGENIEROS LABORATORIO GEOTÉCNICO Y DE CONCRETO	REGISTRO	Código: LGC-P-01-G3-F3-S Versión: 01 Aprobado: CSGILGC Fecha: 15/05/2009 Página: 1 de 1
	INFORME DE RESULTADO DE ENSAYOS	

N° de informe : **LGC-09-161**

Fecha de Emisión : 10/09/2009

Código de proyecto: 093300

Fecha de ejecución: 26/08/2009

Solicitante: Ing. Evaristo Minaya Basilio

Proyecto: Estudio Definitivo de las Obras de Estabilización Seleccionadas para el Derrumbe 5

Ubicación: Pampas-Tayacaja-Huancavelica

Datos de la muestra

Sondeo: T-1

Muestra: M-1

Profundidad (m): 0.00-1.20

Cantera: Mantacra (CA-3)

Tipo de agregado: Fino

Ensayos realizados

Durabilidad con sulfato de sodio o sulfato de magnesio

NTP 400.016 / ASTM C 88

Perdida total en el agregado fino:

7, %

Observaciones:



 CESEL INGENIEROS LABORATORIO GEOTÉCNICO Y DE CONCRETO	REGISTRO	Código: LGC-P-01-G3-F5-S Versión: 001 Aprobado: CSGILGC Fecha: 15/05/2009 Página: 1 de 1
	INFORME DE RESULTADO DE ENSAYOS	

N° de informe : **LGC-09-161**

Fecha de Emisión : 07/09/2009

Código de proyecto: 093300

Fecha de recepción: 26/08/2009

Solicitante: Ing. Evaristo Minaya Basilio

Proyecto: Estudio Definitivo de las Obras de Estabilización Seleccionadas para el Derrumbe 5

Ubicación: Pampas-Tayacaja-Huancavelica

Sondeo: T-1

Muestra: M-1

Profundidad (m): 0.00-1.20

Cantera: Mantacra (CA-2)

Gravedad Específica y Absorción del Agregado	Fino NTP 400.021 / ASTM C 128-04
Peso Específico de masa (Pem)	2,65
Pem saturado con superficie seca (PeSSS)	2,68
Peso Específico aparente (Pea)	2,72
Porcentaje de absorción (Ab)	0,97%

Peso Unitario de los Agregados NTP 400.017 / ASTM C 29 M-97 (2003)		Suelto	Compacto
Fino	Peso específico de masa (Pem)	1,50	1,67
	Contenido de vacíos (%)	76,2	58,0

Observaciones:



 CESEL INGENIEROS LABORATORIO GEOTÉCNICO Y DE CONCRETO	REGISTRO	Código: LGC-P-01-G3-F5-S Versión: 001 Aprobado: CSGILGC Fecha: 15/05/2009 Página: 1 de 1
	INFORME DE RESULTADO DE ENSAYOS	

N° de informe : **LGC-09-161**

Fecha de Emisión : 02/09/2009

Código de proyecto: 093300

Fecha de recepción: 26/08/2009

Solicitante: Ing. Evaristo Minaya Basilio

Proyecto: Estudio Definitivo de las Obras de Estabilización Seleccionadas para el Derrumbe 5

Ubicación: Pampas-Tayacaja-Huancavelica

Sondeo: T-1

Muestra: M-1

Profundidad (m): 0.00-1.20

Cantera: Mantacra (CA-3)

Gravedad Específica y Absorción del Agregado	Fino NTP 400.021 / ASTM C 128-04
Peso Específico de masa (Pem)	2,62
Pem saturado con superficie seca (PeSSS)	2,66
Peso Específico aparente (Pea)	2,72
Porcentaje de absorción (Ab)	1,32%

Peso Unitario de los Agregados NTP 400.017 / ASTM C 29 M-97 (2003)		Suelto	Compacto
Fino	Peso específico de masa (Pem)	1,59	1,71
	Contenido de vacíos (%)	64,2	53,1

Observaciones:



 CESEL INGENIEROS LABORATORIO GEOTÉCNICO Y DE CONCRETO	REGISTRO	Código: LGC-P-01-G6-F11-S Versión: 01 Aprobado: CSGILGC Fecha: 15/05/2009 Página: 1 de 1
	INFORME DE RESULTADOS DE ENSAYOS	

Informe Nº : **LGC-09-161**

Fecha de Emisión : **15/09/2009**

ANÁLISIS QUÍMICO EN SUELO - AGUA
NTP 339.152 / ASTM D 1889, NTP 339.176 / ASTM D 4972/ ASTM D 1293,
NTP 339.177/ ASTM D 512, NTP 339.178/ ASTM D 516

Código del proyecto: 093300

Fecha de recepción : 26/08/2009

Solicitante : Ing. Evaristo Minaya Basilio

Proyecto : Estudio Definitivo de las Obras de Estabilización Seleccionadas para el Derrumbe 5

Ubicación : Pampas-Tayacaja-Huancavelica

Sondeo	Muestra	Profundidad (m)	pH	C.E. us/cm	SST mg/Kg	Cloruros mg/Kg	Sulfatos mg/Kg
T-1	M-1	0.00-1.20	9,6	88,0	135	5	12
T-1	M-1	0.00-1.20	9,5	98,9	165	10	15

Observaciones:

- La unidad empleada mg/Kg es respecto al suelo y equivale a ppm.
- Los resultados de los ensayos pertenecen a las canteras: Mantacra (CA-2) y Mantacra (CA-3), respectivamente.



 LABORATORIO GEOTÉCNICO Y DE CONCRETO	REGISTRO	Código: LGC-P-01-G6-F11-S Versión: 01 Aprobado: CSGILGC Fecha: 15/05/2009 Página: 1 de 1
	INFORME DE RESULTADOS DE ENSAYOS	

Informe Nº : **LGC-09-161**

Fecha de Emisión : **15/09/09**

ANÁLISIS QUÍMICO EN SUELO - AGUA
NTP 339.152 / ASTM D 1889, NTP 339.176 / ASTM D 4972/ ASTM D 1293,
NTP 339.177/ ASTM D 512, NTP 339.178/ ASTM D 516

Código del proyecto: 093300

Fecha de recepción : 26/08/2009

Solicitante : Ing. Evaristo Minaya Basilio

Proyecto : Estudio Definitivo de las Obras de Estabilización Seleccionadas para el Derrumbe 5

Ubicación : Pampas-Tayacaja-Huancavelica

Sondeo	Muestra	Profundidad (m)	pH	C.E. us/cm	SST mg/Kg	Cloruros mg/Kg	Sulfatos mg/Kg
T-1	M-1	0.00-0.80	8,8	171	291	10	60
T-1	M-1	0.00-0.80	8,5	1230	2535	49	615
T-1	M-1	0.00-0.70	8,9	152	270	5	28

Observaciones:

- La unidad empleada mg/Kg es respecto al suelo y equivale a ppm.
- La muestra T-1/M-1/0,00 - 0,80 pertenece a la ubicación: EG-1 / Zona Superior, Galería-S250
- La muestra T-1/M-1/0,00 - 0,80 pertenece a la ubicación: EG-2 / Ladera Media-Falla Transversal
- La muestra T-1/M-1/0,00 - 0,70 pertenece a la ubicación: EG-3/Poza Final de Canal Proyectado



 CESEL INGENIEROS LABORATORIO GEOTÉCNICO Y DE CONCRETO	REGISTRO	Código: LGC-P-01-G1-F5-S Versión: 00 Aprobado: CSGILGC Fecha: 15/05/2009 Página: 1 de 1
	INFORME DE RESULTADO DE ENSAYOS	

Informe N°: **LGC-09-138**

Fecha de Emisión : 19/08/2009

ENSAYOS ESTÁNDAR DE CLASIFICACIÓN

Código del proyecto: 093300

Fecha de recepción : 08/06/2009

Solicitante: Ing. Evaristo Minaya Basilio

Proyecto: Estudio Definitivo de las Obras de Estabilización Seleccionadas para el Derrumbe 5

Ubicación : Tablachaca - Huancavelica

Sondeo : C - 1 Muestra : M - 1 Profundidad (m): 0.00 - 1.80

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO (ASTM-D422)			
PORCENTAJE ACUMULADO QUE PASA (%)	Malla		% que pasa
	N°	Abertura (mm)	
	3 "	76,200	100,0
	2 "	50,800	96,6
	1 1/2 "	38,100	92,0
	1 "	25,400	83,3
	3/4 "	19,100	75,2
	3/8 "	9,520	60,1
	N° 4	4,760	46,5
	N° 10	2,000	32,8
	N° 20	0,840	21,3
	N° 40	0,425	13,3
	N° 60	0,250	7,8
	N° 140	0,106	3,8
	N° 200	0,075	3,3

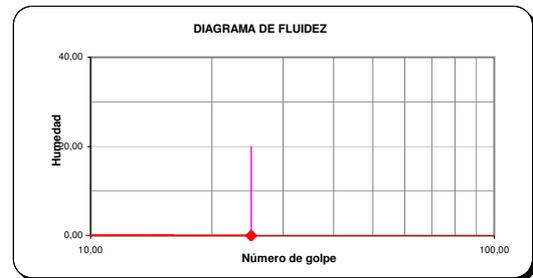
Contenido de Humedad referencial (%W) : 0,65

LIMITES DE CONSISTENCIA

Límite Líquido (LL) ASTM-D4318 (%): -

Límite Plástico (LP) ASTM-D4318 (%): NP

Índice Plástico (IP) (%): -



Distribución Granulométrica

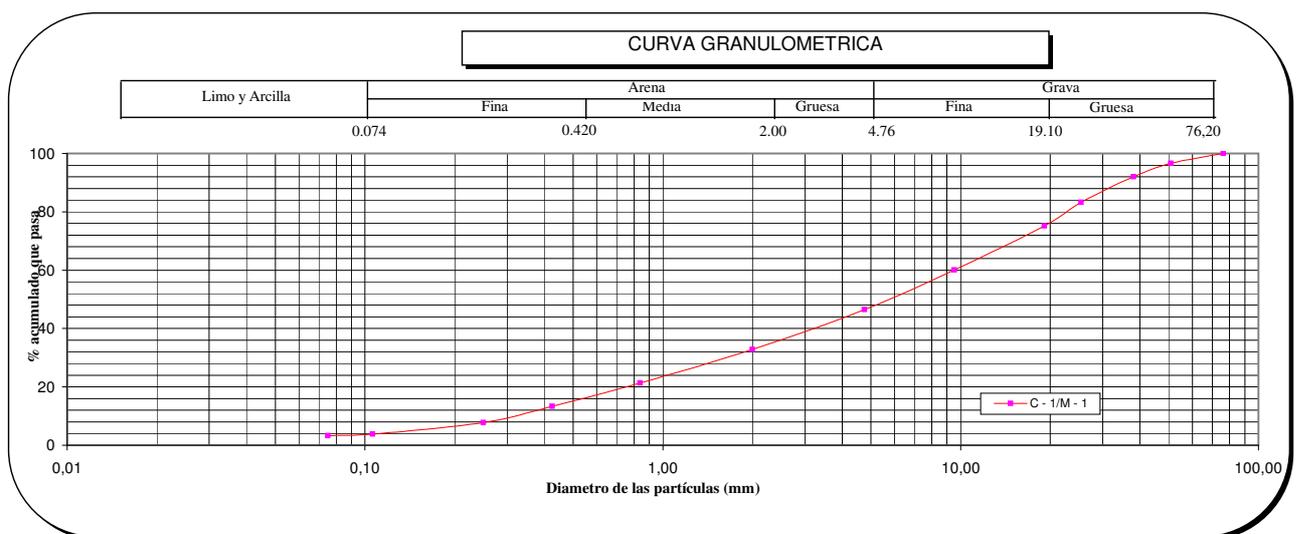
% Grava	GG%	24,8
	GF%	28,7
% Arena	AG%	13,7
	AM%	19,5
	AF%	10,0
% Finos		3,30

Clasificación (S.U.C.S.) ASTM-D2487

GP	Grava pobremente gradada con arena
-----------	------------------------------------

Clasificación (AASHTO) ASTM-D3282

A-1-a	Índice de Grupo : 0
--------------	---------------------



Observaciones:

- El peso de la muestra cumple con lo especificado en la Norma
- La muestra proviene de la cantera Unión Ambo (CA-4)

 CESEL INGENIEROS LABORATORIO GEOTÉCNICO Y DE CONCRETO	REGISTRO	Código: LGC-P-01-G6-F11-S Versión: 01 Aprobado: CSGILGC Fecha: 15/05/2009 Página: 1 de 1
	INFORME DE RESULTADOS DE ENSAYOS	

Informe Nº : **LGC-09-138**

Fecha de Emisión :

ANÁLISIS QUÍMICO EN SUELO - AGUA
 NTP 339.152 / ASTM D 1889, NTP 339.176 / ASTM D 4972/ ASTM D 1293,
 NTP 339.177/ ASTM D 512, NTP 339.178/ ASTM D 516

Código del proyecto: 093300

Fecha de recepción : 06/08/2009

Solicitante : Ing. Evaristo Minaya Basilio

Proyecto : Estudio Definitivo de las Obras de Estabilización Seleccionadas para el Derrumbe 5

Ubicación : Tablachaca - Huancavelica

Sondeo	Muestra	Profundidad (m)	pH	C.E. us/cm	SST mg/Kg	Cloruros mg/Kg	Sulfatos mg/Kg
C - 1	M - 1	0.00 - 1.80	9,1	303	504	36	242
T - 1	M - 1	0.00 - 1.50	9,1	144	240	11	14

Observaciones:

- La unidad empleada mg/Kg es respecto al suelo y equivale a ppm.
- La muestra C-1/M-1/ 0,00-1,80 pertenece a la Cantera Unión Ambo (CA-4)
- La muestra T-1/M-1/ 0,00-1,50 pertenece a la Cantera de roca Ahuaycha Casay (CA-1)



REGISTRO

INFORME DE RESULTADO DE ENSAYOS

Código: LGC-P-01-G3-F1-S
 Versión: 01
 Aprobado: CSGILGC
 Fecha: 15/05/2009
 Página: 1 de 1

Informe N° : LGC-09-138

Fecha de Emisión : 19/08/2009

**ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO PARA AGREGADO
 NTP 400,012/ASTM C 136**

Código del proyecto : 093300

Fecha de recepción : 08/06/2009

Solicitante : Ing. Evaristo Minaya Basilio

Proyecto : Estudio Definitivo de las Obras de Estabilización Seleccionadas para el Derrumbe 5

Ubicación : Tablachaca - Huancavelica

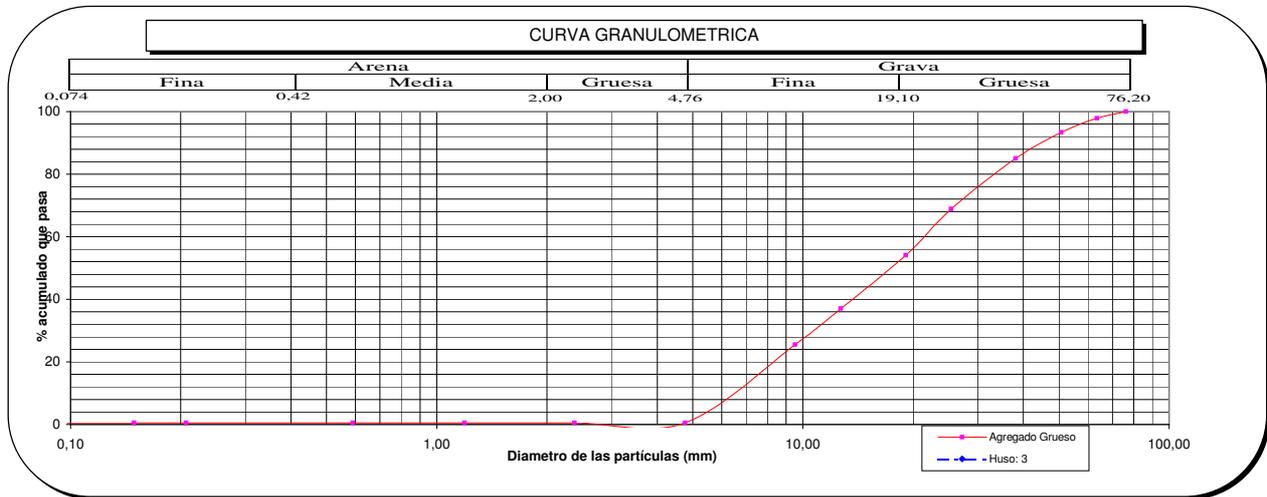
Cantera : Unión Ambo (CA-4)
 Sondeo : C - 1
 Muestra : M - 1
 Profundidad (m) : 0.00 - 1.80

	Malla		Acumulado		% Retenido en cada tamiz
	N°	Abertura (mm)	% que pasa	% retenido	
PORCENTAJE ACUMULADO QUE PASA (%)	3"	76,200	100,0	0,0	0,0
	2 1/2"	63,5	97,8	2,2	2,2
	2"	50,800	93,4	6,6	4,5
	1 1/2"	38,100	85,0	15,0	8,4
	1"	25,400	68,9	31,1	16,0
	3/4"	19,100	54,1	45,9	14,8
	1/2"	12,700	37,0	63,0	17,0
	3/8"	9,520	25,5	74,5	11,6
	N° 4	4,760	0,5	99,5	24,9
	N° 8	2,380	0,5	99,5	0,0
	N° 16	1,190	0,5	99,5	0,0
	N° 30	0,590	0,5	99,5	0,0
	N° 50	0,207	0,5	99,5	0,0
	N° 100	0,149	0,5	99,5	0,0
	N° 200	0,074	0,5	99,5	0,0

Distribución Granulométrica

% Grava	GG%	45,9
	GF%	53,5
% Arena	AG%	0,0
	AM%	0,0
% Finos	AF%	0,0
		0,5

Módulo de Fineza : 7,32



Observaciones :

.....

.....

.....



	REGISTRO	Código: LGC-P-01-G3-F2-S Versión: 01 Aprobado: CSGILGC Fecha: 15/05/2009 Página: 1 de 1
	INFORME DE RESULTADO DE ENSAYOS	

N° de informe : **LGC-09-138**

Fecha de Emisión : 19/08/2009

Código de proyecto: 093300

Fecha de recepción: 08/06/2009

Solicitante: Ing. Evaristo Minaya Basilio

Proyecto:

Estudio Definitivo de las Obras de Estabilización Seleccionadas para el Derrumbe 5

Ubicación: Tablachaca - Huancavelica

Datos de la muestra

Sondeo: C - 1

Muestra: M - 1

Profundidad (m): 0.00 - 1.80

Cantera: Unión Ambo (CA-4)

Ensayos realizados

Resultados

Equivalente de arena

NTP 339.146 / ASTM D 2419-02

68 %

Determinación de la resistencia a la degradación en agregados gruesos de tamaño grande por abrasión e impacto en la máquina de los Angeles

NTP 400.020 / ASTM C 535

36 %

Observaciones:



 CESEL INGENIEROS LABORATORIO GEOTÉCNICO Y DE CONCRETO	REGISTRO	Código: LGC-P-01-G3-F3-S Versión: 01 Aprobado: CSGILGC Fecha: 15/05/2009 Página: 1 de 1
	INFORME DE RESULTADO DE ENSAYOS	

Nº de informe : **LGC-09-138**

Fecha de Emisión : 19/08/2009

Código de proyecto: 093300

Fecha de ejecución: 08/06/2009

Solicitante: Ing. Evaristo Minaya Basilio

Proyecto: Estudio Definitivo de las Obras de Estabilización Seleccionadas para el Derrumbe 5

Ubicación: Tablachaca - Huancavelica

Datos de la muestra

Sondeo: C - 1

Muestra: M - 1

Profundidad (m): 0.00 - 1.80

Cantera: Unión Ambo (CA-4)

Tipo de agregado: Grueso

Ensayos realizados

Durabilidad con sulfato de sodio o sulfato de magnesio

NTP 400.016 / ASTM C 88

Perdida total en el agregado fino: 6, %

Perdida total en el agregado grueso: 2, %

Examen cualitativo del agregado grueso

Nro tamiz (pasa - retiene)	Rajadas	Desmoronadas	Fracturadas	Astilladas
2 1/2" - 1 1/2"	0	0	6	11
1 1/2" - 3/4"	0	0	6	9

Observaciones:



 CESEL INGENIEROS LABORATORIO GEOTÉCNICO Y DE CONCRETO	REGISTRO	Código: LGC-P-01-G3-F5-S Versión: 001 Aprobado: CSGILGC Fecha: 15/05/2009 Página: 1 de 1
	INFORME DE RESULTADO DE ENSAYOS	

N° de informe : **LGC-09-138**

Fecha de Emisión : 19/08/2009

Código de proyecto: 093300

Fecha de recepción: 08/06/2009

Solicitante: Ing. Evaristo Minaya Basilio

Proyecto: Estudio Definitivo de las Obras de Estabilización Seleccionadas para el Derrumbe 5

Ubicación: Tablachaca - Huancavelica

Sondeo: C - 1

Muestra: M - 1

Profundidad (m): 0.00 - 1.80

Cantera: Unión Ambo (CA-4)

Peso Unitario de los Agregados NTP 400.017 / ASTM C 29 M-97 (2003)		Suelto	Compacto
Fino	Peso específico de masa (Pem)	1,59	1,83
	Contenido de vacíos (%)	1,59	1,83
Grueso	Peso específico de masa (Pem)	1,71	1,81
	Contenido de vacíos (%)	1,71	1,81

Observaciones:



 CESEL INGENIEROS LABORATORIO GEOTÉCNICO Y DE CONCRETO	REGISTRO	Código: LGC-P-01-G6-F12-S Versión: 01 Aprobado: CSGILGC Fecha: 15/05/2009 Página: 1 de 1
	INFORME DE RESULTADOS DE ENSAYOS	

Informe N° : LGC-09-154

Fecha de Emisión : 01/09/2009

ANÁLISIS QUÍMICO EN SUELO - AGUA
 NTP 339.152 / ASTM D 1889, NTP 339.176 / ASTM D 4972/ ASTM D 1293,
 NTP 339.177/ ASTM D 512, NTP 339.178/ ASTM D 516

Código del proyecto: 093300

Fecha de recepción : 25/08/2009

Solicitante : Ing. Armando Romero Grados

Proyecto : Estudio Definitivo de las Obras de Estabilización Seleccionadas para el Derrumbe 5

Ubicación : Tablachaca- Huancavelica

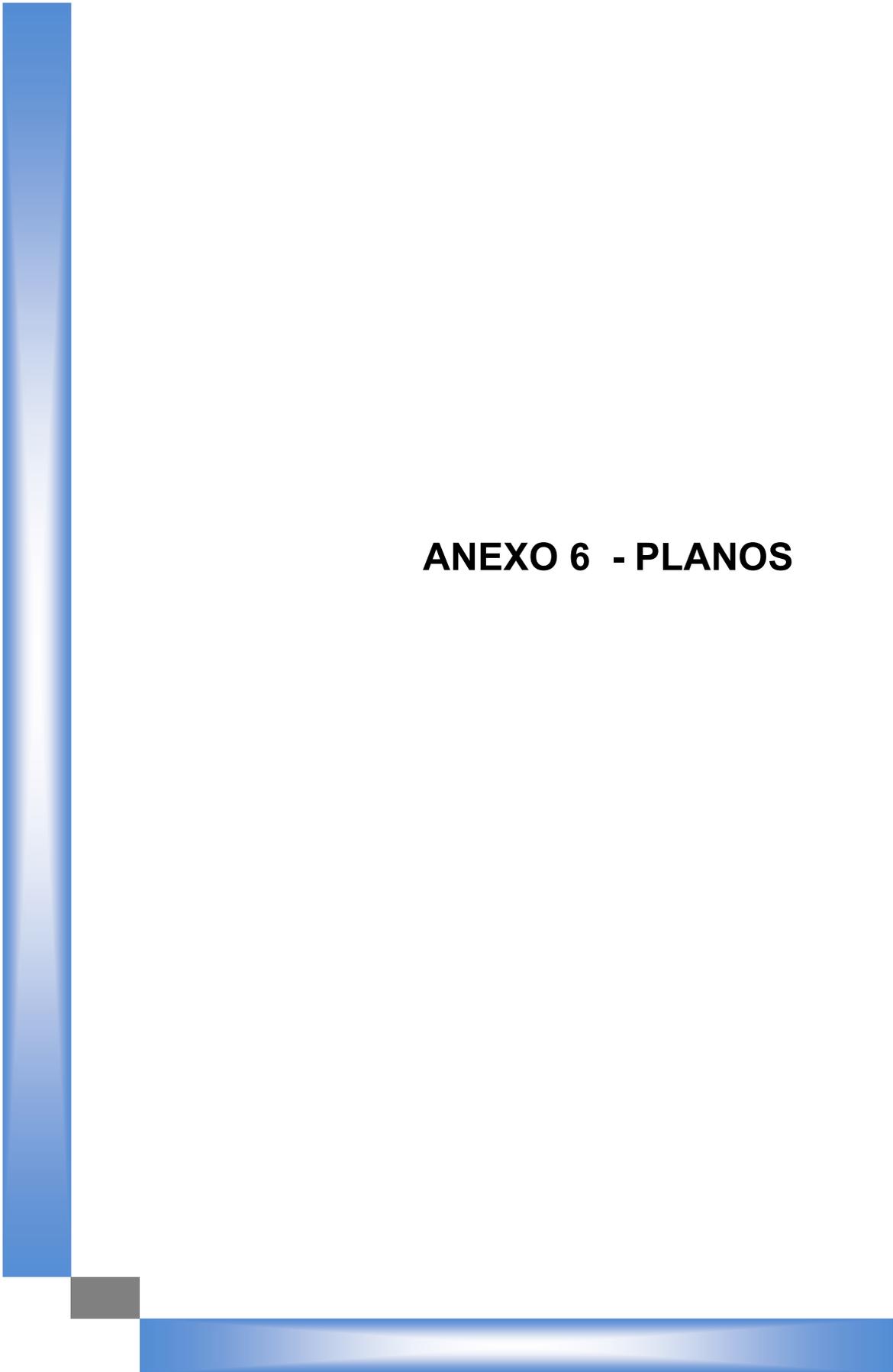
Sondeo	Muestra	Profundidad (m)	pH	C.E. us/cm	SST mg/Kg	Cloruros mg/Kg	Sulfatos mg/Kg
-	M-1	Superficial	8,7	579	348	3	70

Observaciones:

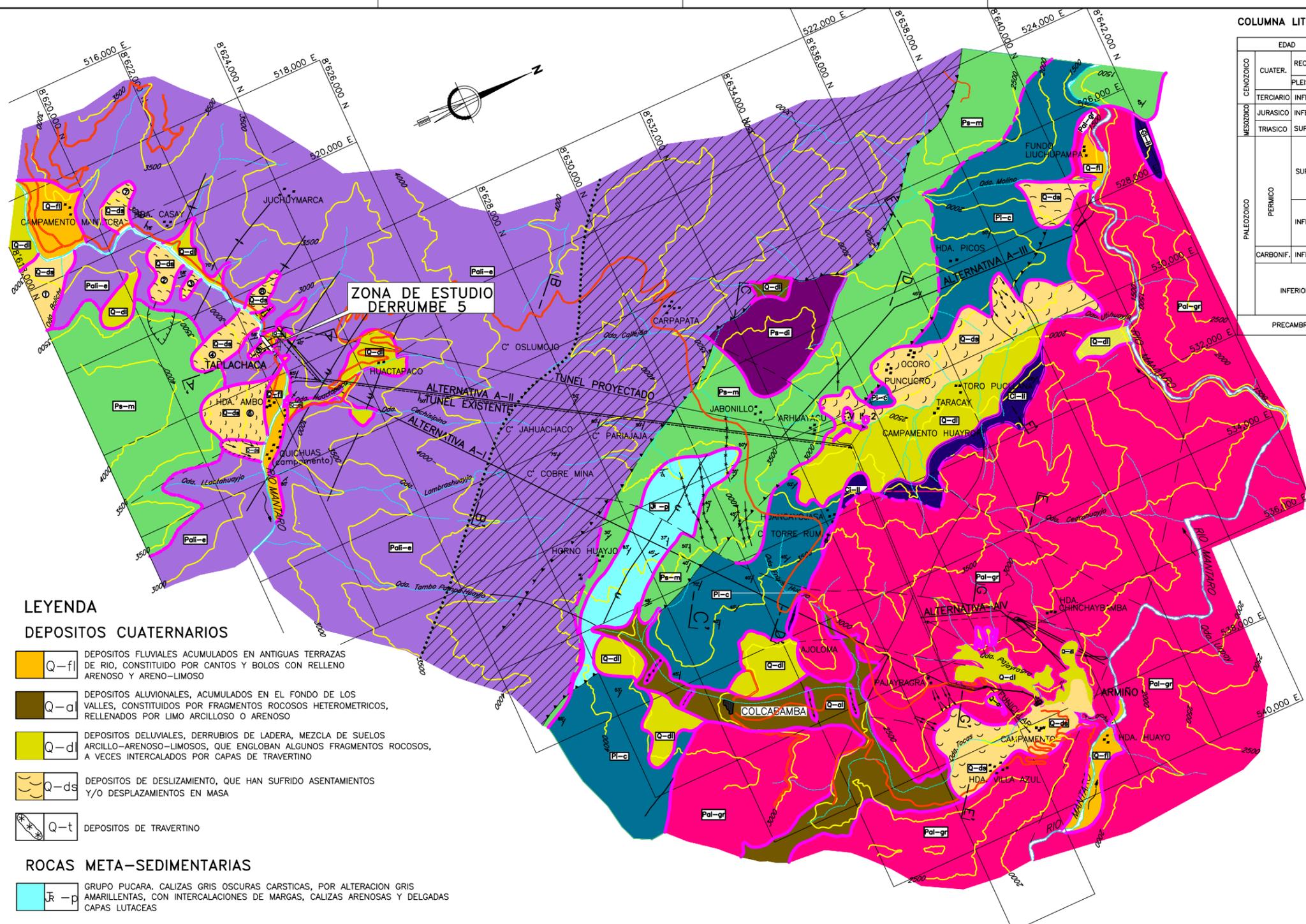
- La unidad empleada mg/L es respecto al agua y equivale a ppm.

- La muestra fue obtenida de la Quebrada Uchimarca



A decorative graphic element consisting of a thick blue L-shaped bar. It starts with a vertical bar on the left side, extending from the top of the page down to about two-thirds of the way down. At the bottom of this vertical bar, there is a small grey square. From the right side of this grey square, a horizontal blue bar extends across the bottom of the page.

ANEXO 6 - PLANOS



COLUMNA LITO-ESTRATIGRAFICA Y GEO-CRONOLOGICA DE LA GEOLOGIA DEL AREA DEL PROYECTO

EDAD	UNID. ESTRAT.	COLUMNA LITOLOGICA	SIMBOLOS	ESPESOR m.	DESCRIPCION
CUATERNARIO	RECIENTE	DEPOSITOS CUATERNARIOS	Q-fl/dl Q-ds Q-dl	20/120	DEPOSITOS DETRITICOS DEL CUATERNARIO, DE ORIGEN FLUVIAL, ALUVIAL, DELUVIAL Y DEPOSITOS DESLIZADOS DE COMPOSICION VARIADA, CAPAS DE TRAVERTINO
	PLEISTOCENO				
TERCIARIO	INFERIOR	CUERPOS FILONEANOS	KTI-d	2-30	DIQUES DE APLITA, GRANITO, DIORITA Y ANDESITA
	SUPERIOR	GRUPO PUCARA	Jr-p	400/600	CALIZAS GRIS OSCURAS, CARSTICAS, CON INTERCALACIONES DE MARGAS, CALIZAS ARENOSAS Y DELGADAS CAPAS LUTACEAS
PERMICO	SUPERIOR	GRUPO MITU	Ps-m	1500/2000	AGLOMERADOS Y CAPAS DE DERRAMES LAVICOS. EN LOS HORIZONTES INFERIORES, ARENOSOS Y LUTACEOS HACIA EL TOPE, PRESENTAN COLORACIONES ROJIZAS Y VIOLACEAS
		INTRUSIVO JABONILLO	Ps-di	1000/1500	DIORITA GRIS VERDOSA
	INFERIOR	GRUPO COPACABANA	Pi-c	1500/2000	CALIZAS SILICIFICADAS CON INTERCALACIONES DE CALIZAS ARENOSAS, CALIZAS BIOLASTICAS, INTERCALACIONES DE MARGAS VIOLACEAS Y ROJIZAS
CARBONIF.	INFERIOR	FORMACION LLAGATO	Ci-ll	100/200	CONGLOMERADO CONSTITUIDO POR CANTOS Y GRAVAS DE ARENISCAS, CALIZA; MATRIZ ARENO-ARCILLOSO
INFERIOR		INTRUSIVO VILLA AZUL	Pal-gr	> 5000	GRANITO GRIS CLARO, GRANO GRUESO, EQUIGRANULAR, ISOTROPICO, CON VARIACIONES A GRANITO ROSADO
		GRUPO EXCELSIOR	Pal-e	> 2000	EL HORIZONTE SUPERIOR CONSISTE DE ESQUISTOS Y FILITAS PIZARRASAS Y CARBONOSAS, GRIS OSCURAS, BIEN FOLIADAS Y REPLEGADAS. EL HORIZONTE INFERIOR CONSISTE DE FILITAS SERICITICAS CLORITOSAS Y MICACEOS, GRIS OSCURAS, VERDOSAS, CON BRILLO PERLADO
PRECAMBRIANO					



UBICACION

LEYENDA

- DEPOSITOS CUATERNARIOS**
- Q-fl** DEPOSITOS FLUVIALES ACUMULADOS EN ANTIGUAS TERRAZAS DE RIO, CONSTITUIDO POR CANTOS Y BOLOS CON RELLENO ARENOSO Y ARENO-LIMOSO
 - Q-d** DEPOSITOS ALUVIONALES, ACUMULADOS EN EL FONDO DE LOS VALLES, CONSTITUIDOS POR FRAGMENTOS ROCOSOS HETEROMETRICOS, RELLENADOS POR LIMO ARCILLOSO O ARENOSO
 - Q-dl** DEPOSITOS DELUVIALES, DERRUBIOS DE LADERA, MEZCLA DE SUELOS ARCILLO-ARENOSO-LIMOSOS, QUE ENGLOBAL ALGUNOS FRAGMENTOS ROCOSOS, A VECES INTERCALADOS POR CAPAS DE TRAVERTINO
 - Q-ds** DEPOSITOS DE DESLIZAMIENTO, QUE HAN SUFRIDO ASENTAMIENTOS Y/O DESPLAZAMIENTOS EN MASA
 - Q-t** DEPOSITOS DE TRAVERTINO

- ROCAS META-SEDIMENTARIAS**
- Jr-p** GRUPO PUCARA. CALIZAS GRIS OSCURAS CARSTICAS, POR ALTERACION GRIS AMARILLENAS, CON INTERCALACIONES DE MARGAS, CALIZAS ARENOSAS Y DELGADAS CAPAS LUTACEAS
 - Ps-m** GRUPO MITU. CONSTITUIDO POR AGLOMERADOS Y CAPAS DE DERRAMES LAVICOS ANDESITICOS EN LA PARTE BASAL Y ARENISCAS CON INTERCALACIONES DE LIMOLITAS Y LUTITAS HACIA EL TOPE. PRESENTAN COLORACIONES ROJIZAS A VIOLACEAS
 - Pi-c** GRUPO COPACABANA. CALIZAS SILICIFICADAS, CON INTERCALACIONES DE CALIZAS ARENOSAS Y MARGAS VIOLACEAS A VERDOSAS. ALGUNOS HORIZONTES MUESTRAN FUERTE OXIDACION, EN LOS HORIZONTES SUPERIORES OCURRE ABUNDANTES LENTES Y CAPAS DE YESO Y ANHIDRITA
 - Ci-ll** FORMACION LLAGATO. POSIBLEMENTE CORRELATIVAS AL GRUPO AMBO, CONSISTE DE CONGLOMERADOS GRUESOS Y FINOS, CONSTITUIDOS POR CANTOS Y GRAVAS DE 2 A 20 cm. DE CUARZO, CALIZAS, LIMOLITAS NEGRAS Y ARENISCAS, EN MATRIZ ARENO ARCILLOSO
 - Pal-e** GRUPO EXCELSIOR. EL HORIZONTE SUPERIOR CONSISTE DE ESQUISTOS Y FILITAS PIZARRASAS Y CARBONOSAS, GRIS OSCURAS, BIEN FOLIADAS Y REPLEGADAS. EL HORIZONTE INFERIOR CONSISTE DE FILITAS SERICITICAS CLORITOSAS Y MICACEAS, GRIS OSCURAS, VERDOSAS CON BRILLO PERLADO

- ROCAS INTRUSIVAS Y FILONEANAS**
- Ps-di** INTRUSIVO DE JABONILLO. DIORITA DE GRANOS MEDIANOS A GRUESOS (1-3 mm) GRIS VERDOSO, EN SUPERFICIE INTEMPERIZADOS
 - Pal-gr** INTRUSIVO DE VILLA AZUL. GRANITO DE GRANOS GRUESOS, GRIS BLANQUESINOS, ISOTROPOS, EN SUPERFICIE INTEMPERIZADOS
- a) DIQUES ACIDOS : APLITAS, RIOLITAS, DACITAS
b) DIQUES BASICOS : ANDESITAS, DIABASAS

SIGNOS CONVENCIONALES

- CONTACTOS GEOLOGICOS :**
 - a) PROBADO
 - b) INFERIDO
- ORIENTACION DE LOS ESTRATOS :**
 - a) CON BUZAMIENTO INCLINADO
 - b) CON BUZAMIENTO PERPENDICULAR
- ORIENTACION DE FRACTURAS :**
 - a) CON BUZAMIENTO
 - b) CON BUZAMIENTO PERPENDICULAR
- PLEGAMIENTOS :**
 - a) ANTICLINAL
 - b) SINCLINAL
 - c) SINCLINAL TUMBADO
- FALLAS TECTONICAS :**
 - a) PROBADA
 - b) INFERIDA
 - c) FALLA DE SOBRESCURRIMIENTO
- DESPLAZAMIENTOS APARENTEMENTE ESTABILIZADOS**
- MOVIMIENTO DE DESLIZAMIENTOS ACTIVOS**
- TRAZO DE OBRAS :**
 - a) EXISTENTES
 - b) PROYECTADOS
- PERFILES Y SECCIONES GEOLOGICAS :**
 - I-I = LONGITUDINALES
 - A-A = TRANSVERSALES
- POBLADOS**
- VIAS DE ACCESO :**
 - a) CARRETERA
 - b) CAMINO DE HERRADURA

LEYENDA :

- Re** RELLENO ESTRUCTURAL COMPACTADO AL 90% PROCTOR MODIFICADO
- E** ENROCADO DIAMETRO PROMEDIO $\phi=0.80m$

NOTAS :

- 1.- LA ESCALA GRAFICA MOSTRADA ES PARA EL FORMATO A-1, PARA A-3 CONSIDERAR EL DOBLE
- 2.- USAR SOLO DIMENSIONES INDICADAS EN LOS PLANOS.

REFERENCIAS :

- 1.- MAPA GEOLOGICO DEL ESTUDIO DE FACTIBILIDAD DEL SEGUNDO TUNEL C.H. SANTIAGO ANTUNEZ DE MAYOLO - COMPLEJO MANTARO



0	10/02/10	EMITIDO PARA CONSTRUCCION	E.M.B.	H.S.D.
REV. N°	FECHA	DESCRIPCION	REVISO	APROBO

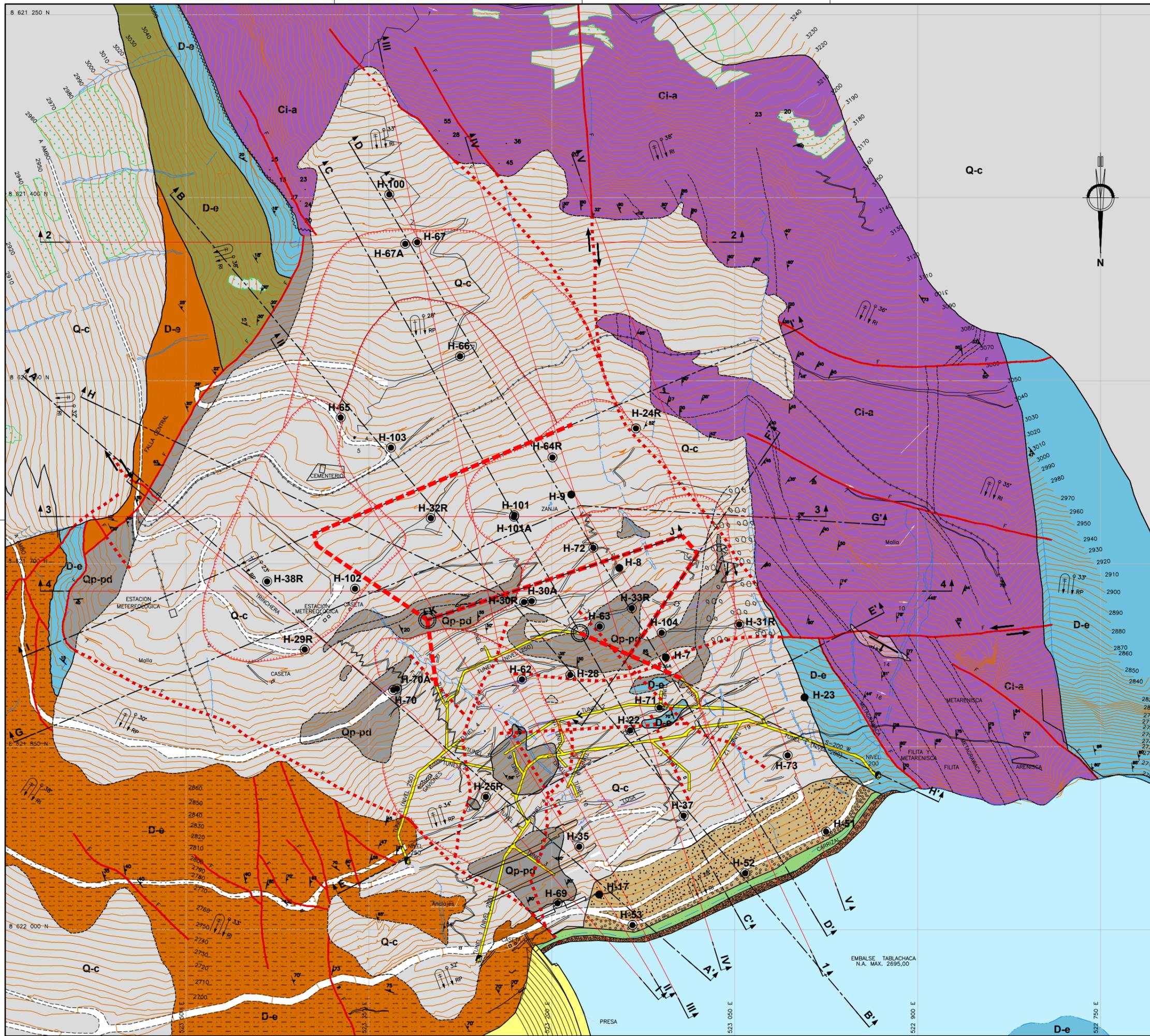
electroperu
la energía de los peruanos

PROYECTO: **"Estudio Definitivo de las Obras de Estabilización Seleccionadas para El Derrumbe - 5"**

GEOLOGIA

TITULO: **DERRUMBE 5 GEOLOGIA REGIONAL** PLANO N°: **CSL-093300-2-GE-001**

ELABORO : H.C.A. REVISO : E.M.B. ESCALA : INDICADA REV. : 0
DIBUJO : G.S.V. APROBO : H.S.D. FECHA : FEB. 2010 TRABAJO : 093300



UBICACION
S/E

LEYENDA

- CUATERNARIO**
- (Q-c) Coluvial: Fragmentos sueltos, tamaño grava gruesa y media, en matriz limo-arcillosa-arenosa.
 - (Qp-pd) Paleoderrumbes: Bloques de esquistos muy fracturados a triturados con finos de limo-arcillosos gruesos. Espesor hasta 100 m.
 - (Qp-cp) Coluvial de Pizarra: Conformado por arcilla negra, dureza media con planos de fricción, con algunos bloques de pizarra meteorizada intemperizada, espesor hasta 40 m. En el contacto inferior arcilla hasta de 1,50 m de espesor.
- CARBONIANO INFERIOR-MEDIO**
- (Ci-a) Grupo Ambo: Metagrawaca, metareniscas y filitas
- DEVONIANO-Grupo Excelsior**
- (D-e) Pizarra
 - (D-e) Esquisto
 - (D-e) Cuarcita
 - (D-e) Esquistos y pizarras gris oscuro con intercalaciones de cuarcita.

SIMBOLOGIA

- Perforación diamantina
- Perforación diamantina, inclinómetro y piezómetro
- ✦ Muestra superficial
- Pique
- Contacto litológico
- Falla geológica
- - - Falla geológica inferida
- Cesel Galería Projectada D
- Galerías existentes
- Áreas de cultivo
- - - Tracha de acceso
- Discordancia
- Escarpa de deslizamiento
- Malla de protección
- Rumbo y buzamiento de foliación
- Rumbo y buzamiento de los estratos
- Rumbo y buzamiento de ladera potencialmente inestable
- Pendiente de ladera y coluvio, moderado y pronunciado.
- Inclinación de ladera y coluvio, estable e inestable.
- Portal de Galería 200 - 250
- Camino Peatonal
- Ladera de cerro inestable
- Caída de detritos rocosos
- LINEA DE SECCIÓN GEOLÓGICA (CESEL)
- LINEA DE SECCIÓN GEOLÓGICA (CONSORCIO INGEC-SVS)

NOTAS :
1.- LA ESCALA GRAFICA MOSTRADA ES PARA EL FORMATO A-1, PARA A-3 CONSIDERAR EL DOBLE
2.- USAR SOLO DIMENSIONES INDICADAS EN LOS PLANOS.



0	10/02/10	EMITIDO PARA CONSTRUCCIÓN	E.M.B.	H.S.D.
REV. N°	FECHA	DESCRIPCION	REVISO	APROBO

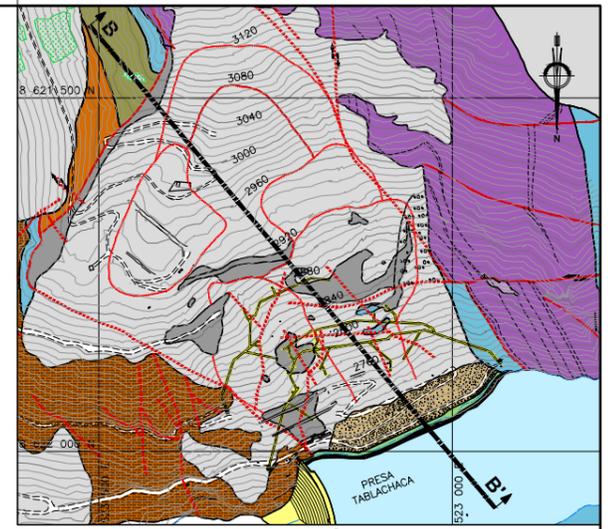


PROYECTO:		"Estudio Definitivo de las Obras de Estabilización Seleccionadas para El Derrumbe - 5"			
GEOLOGÍA					
TITULO:	DERRUMBE 5 PLANTA SECCIONES GEOLOGICAS GALERIAS PROYECTADAS		PLANO N°:	CSL-093300-2-GE-003 1/10	
ELABORO :	H.C.A.	REVISO :	E.M.B.	ESCALA :	1 : 1 500
DIBUJO :	M.I.C.	APROBO :	H.S.D.	FECHA :	FEB. 2010
CESEL INGENIEROS				TRABAJO :	093300
				REV. :	0

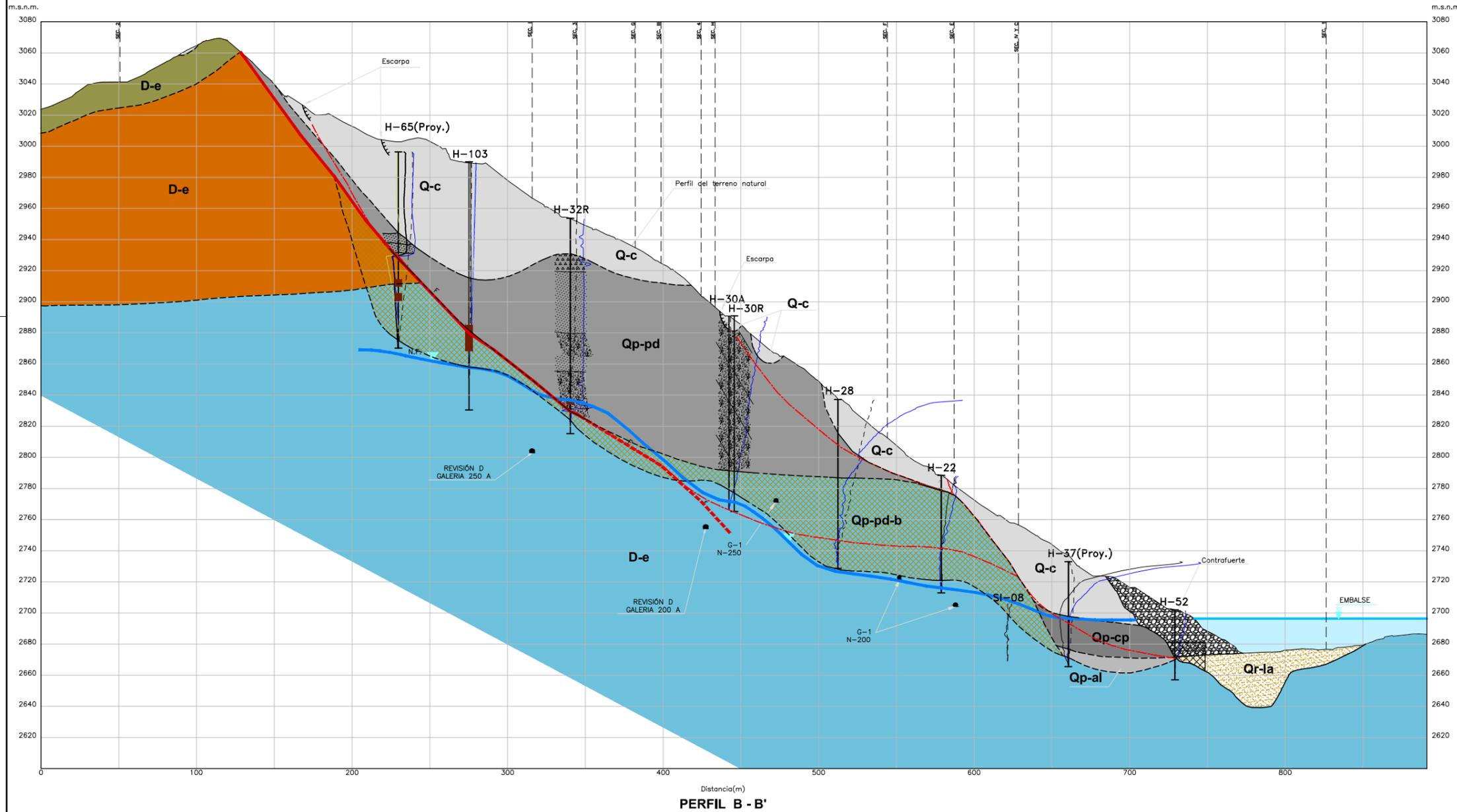
H:\GEOLOGIA\08 PROYECTOS\2009\31_093300 DERRUMBE 5\5 TIPOA\01 ESTUDIO GALERIAS\04 PLANOS\REV 0\CSL-093300-2-GE-003_1-10 REV. 0.DWG 01/11/10 16:05

SIMBOLOGÍA

	Falla geológica
	Contacto litológico inferido
	Galerías existentes nivel 250 y nivel 200
	Galerías proyectadas
	Perforación diamantina ejecutada
	Superficie de deslizamiento
	Nivel freático actual
	Límite de brecha en registro de perforación
	Registro de inclinómetro
	Contrafuerte
	Escarpa
	Columnas de Grava



UBICACIÓN
1:5 000



PERFIL B - B'

LEYENDA

CUATERNARIO

- (Qr-la) Sedimentos Lagunares: Arena arcillosa con intercalaciones de limo y grava (embalse).
- (Q-c) Coluvial: Fragmentos sueltos, tamaño grava gruesa y media, en matriz limo-arcillosa-arenosa.
- (Qp-pd) Paleoderrumbe: Bloques de esquistos muy fracturados a triturados con finos de limo-arcillosos gravosos. Espesor hasta 100 m.
- (Qp-pd-b) Brecha: Bloques de cuarcitas y filitas, muy fracturados, de forma subangulosos, de color gris.
- (Qp-cp) Coluvial de Pizarra: Conformado por arcilla negra, dureza media con planos de fricción, con algunos bloques de pizarra meteorizada intemperizada, espesor hasta 40 m. En el contacto inferior arcilla hasta de 1,50 m de espesor.
- (Qc-al) Aluvial: Cantas, gravas arenas y limos arcillosos, de pizarra, esquistos, cuarcita, toba riolítica y andesita.

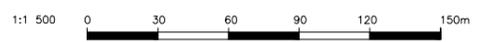
DEVONIANO-Grupo Excelsior

- (D-e) Pizarra
- (D-e) Cuarcita
- (D-e) Esquistos

INTERPRETACION DE PERFORACIONES DIAMANTINAS	
INGETEC-SVS H-22, H-28, H-30R, H-32R H-37, H-52, H-65	CESEL H-103
Fragmentos en matriz fina	Dep. coluviales recientes. Arena gravosa medianamente densa
Bloques de metarenisca	Fragmentos angulosos de filita cuarcítica con horizontes de grava angulosa
Bloques de esquistos o cuarcita	Pizarra negra triturada y cizallada
Bloques de pizarra o zona blanda	Bloques de pizarra o zona blanda

NOTAS :

- LA ESCALA GRAFICA MOSTRADA ES PARA EL FORMATO A-1, PARA A-3 CONSIDERAR EL DOBLE
- USAR SOLO DIMENSIONES INDICADAS EN LOS PLANOS.



0	10/02/10	EMITIDO PARA SU REVISIÓN	E.M.B.	H.S.D.
REV. N°	FECHA	DESCRIPCION	REVISO	APROBO

la energía de los peruanos

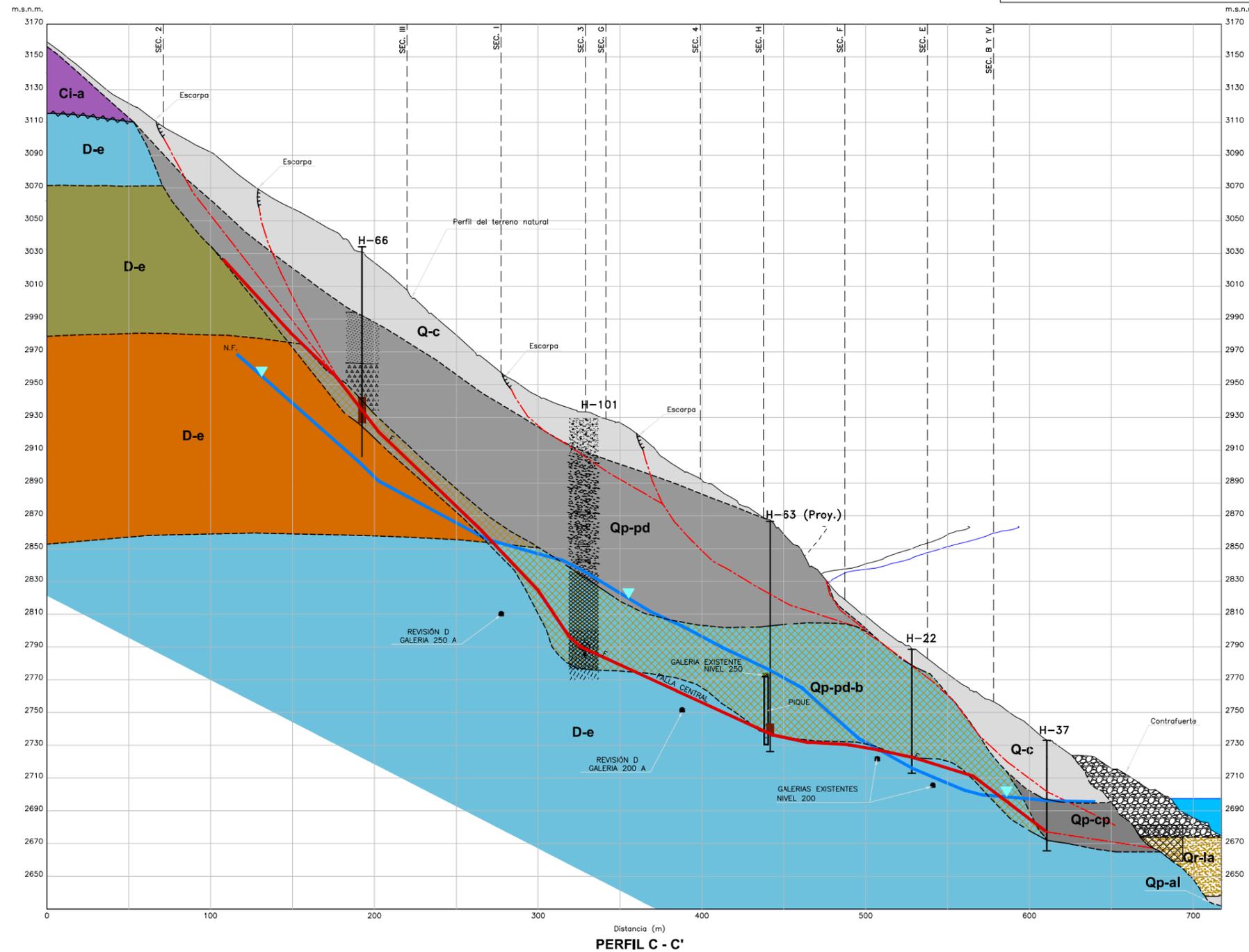
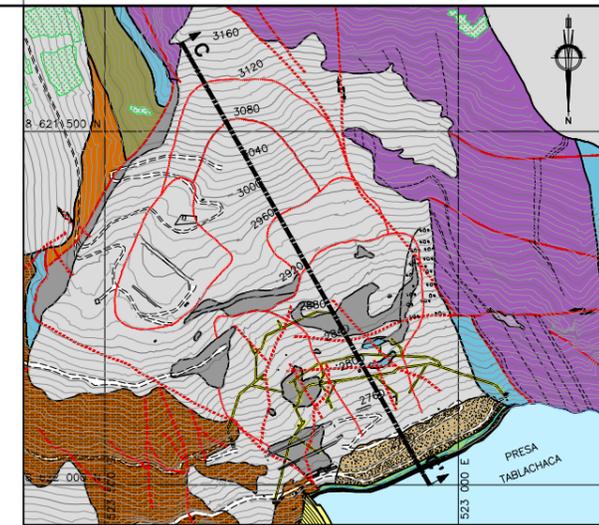
PROYECTO: **"Estudio Definitivo de las Obras de Estabilización Seleccionadas para El Derrumbe - 5"**

GEOLOGÍA

TITULO: DERRUMBE 5 PERFIL GEOLÓGICO B - B'	PLANO N°: CSL-093300-2-GE-003 3/10
ELABORO : H.C.A. DIBUJO : M.I.C.	REVISO : E.M.B. APROBO : H.S.D.
ESCALA : 1 : 1 500	FECHA : FEB-2010
REV. : 0	TRABAJO : 093300

H:\GEOLOGIA\08 PROYECTOS\2009\31 093300 DERRUMBE 5\5 TIPO A\01 ESTUDIO GALERIAS\04 PLANOS\REV 0\CSL-093300-2-GE-003_3-10 REV.0.DWG 01/17/10 16:11

SIMBOLOGÍA	
	Falla geológica
	Contacto litológico inferido
	Discordancia
	Galerías existentes nivel 250 y nivel 200
	Galerías propuestas Revisión D
	Perforación diamantina ejecutada
	Superficie de deslizamiento
	Nivel freático actual
	Limite de brecha en registro de perforación
	Registro de inclinometro
	Escarpa
	Contrafuerte
	Columnas de Grava



UBICACIÓN
1:5 000

LEYENDA

CUATERNARIO	
	(Qr-la) Sedimentos Lagunares: Arena arcillosa con intercalaciones de limo y grava (embalse).
	(Q-c) Coluvial: Fragmentos sueltos, tamaño grava gruesa y media, en matriz limo-arcillosa-arenosa.
	(Qp-pd) Paleoderrumbas: Bloques de esquistos muy fracturados a triturados con finos de limo-arcillosos gravosos. Espesor hasta 100 m.
	(Qp-pd-b) Brecha: Bloques de cuarcitas y filitas, muy fracturadas, de forma subangulosos, de color gris.
	(Qp-cp) Coluvial de Pizarra: Conformado por arcilla negra, dureza media con planos de fricción, con algunos bloques de pizarra meteorizada intemperizada, espesor hasta 40 m. En el contacto inferior arcilla hasta de 1,50 m de espesor.
	(Qp-al) Aluvial: Cantos, gravas arenas y limos arcillosos, de pizarra, esquistos, cuarcita, toba riolítica y andesita.
CARBONIANO INFERIOR MEDIO	
	(Ci-a) Grupo Ambo: Metagrauwaca, metareniscas y filitas
DEVONIANO-Grupo Excelsior	
	(D-e) Pizarra
	(D-e) Cuarcita
	(D-e) Esquisto
INTERPRETACION DE PERFORACIONES DIAMANTINAS	
INGETEC-SVS H-22, H-37, H-63, H-66	CESEL H-101

NOTAS :

- LA ESCALA GRAFICA MOSTRADA ES PARA EL FORMATO A-1, PARA A-3 CONSIDERAR EL DOBLE
- DIMENSIONES EN MILIMETROS Y NIVELES EN METROS, SALVO INDICADO.
- USAR SOLO DIMENSIONES INDICADAS EN LOS PLANOS.



REV. N°	FECHA	DESCRIPCION	REVISO	APROBO
0	10/02/10	EMITIDO PARA CONSTRUCCIÓN	E.M.B.	H.S.D.



PROYECTO: "Estudio Definitivo de las Obras de Estabilización Seleccionadas para El Derrumbe - 5"

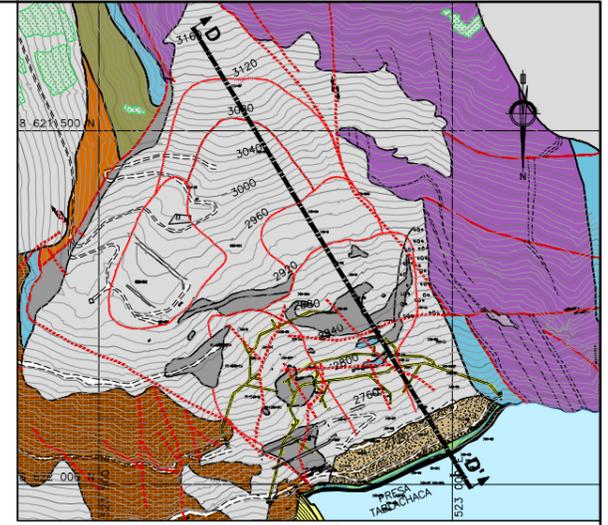
GEOLOGÍA

TITULO:	PLANO N°:
DERRUMBE 5 PERFIL GEOLÓGICO C-C'	CSL-093300-2-GE-003 4/10
ELABORO : V.U.C.	REVISO : E.M.B.
DIBUJO : M.I.C.	APROBO : H.S.D.
ESCALA : 1 : 1 500	FECHA : FEB-2010
REV. : 0	TRABAJO : 093300

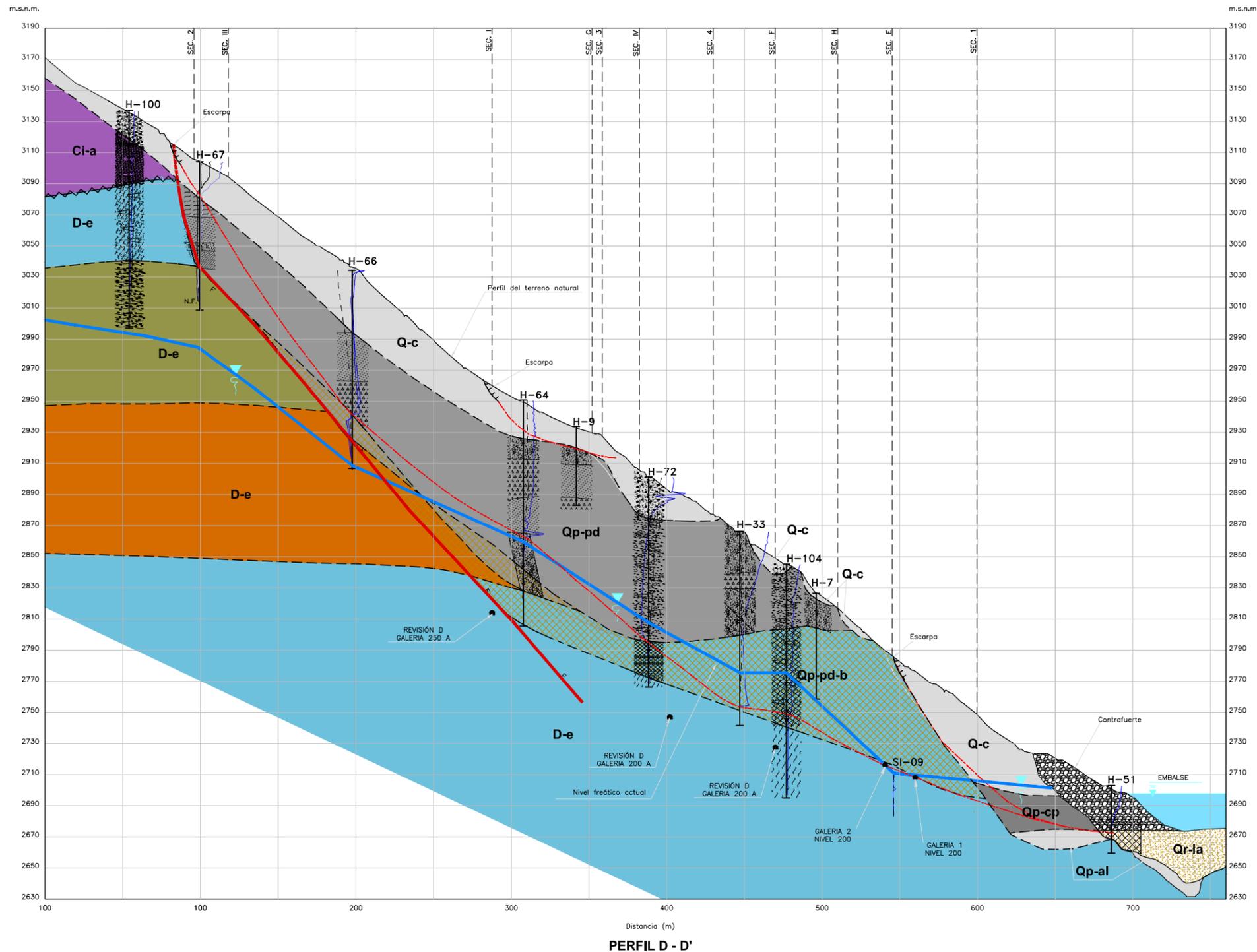


SIMBOLOGÍA

- F Falla geológica
- Contacto litológico inferido
- Discordancia
- Q-1
N-200 Galería existente nivel 200
- REVISIÓN D Galerías 200 A y 250 A
- H-53 Perforación diamantina ejecutada
- Superficie de deslizamiento
- NF Nivel freático actual
- Límite de brecha en registro de perforación
- Registro de inclinómetro
- Escarpa
- Contrafuerte
- Columna de Grava



UBICACIÓN
1:5 000



PERFIL D - D'

LEYENDA

CUATERNARIO

- (Qr-la) Sedimentos Lagunares: Arena arcillosa con intercalaciones de limo y grava (embalse).
- (Q-c) Coluvial: Fragmentos sueltos, tamaño grava gruesa y media, en matriz limo-arcillosa-arenosa.
- (Qp-pd) Paleoderrumbe: Bloques de esquistos muy fracturados a triturados con finos de limo-arcillosos gravosos. Espesor hasta 100 m.
- (Qp-pd-b) Brecha: Bloques de cuarcitas y filitas, muy fracturadas, de forma subangulosas, de color gris.
- (Qp-cp) Coluvial de Pizarra: Conformado por arcilla negra, dureza media con planos de fricción, con algunos bloques de pizarra meteorizada intemperizada, espesor hasta 40 m. En el contacto inferior arcilla hasta de 1,50 m de espesor.
- (Qp-al) Aluvial: Cantos, gravas arenas y limos arcillosos, de pizarra, esquistos, cuarcita, toba riolítica y andesita.

CARBONIANO INFERIOR MEDIO

- (Ci-a) Grupo Ambo: Metagrawaca, metareniscas y filitas

DEVONIANO-Grupo Excelsior

- (D-e) Pizarra
- (D-e) Cuarcita
- (D-e) Esquistos

INTERPRETACION DE PERFORACIONES DIAMANTINAS	
INGETEC-SVS	CESEL
H-7, H-9, H-33, H-64 H-66, H-51, H-67, H-72	H-100, H-104
<ul style="list-style-type: none"> Fragmentos en matriz fina Bloques de metarenisca Bloques de esquistos o cuarcita Bloques de pizarra o zona blanda 	<ul style="list-style-type: none"> Dep. coluviales recientes. Arena gravosa medianamente densa Fragmentos angulosos de filita cuarcítica con horizontes de grava angulosa Pizarra negra triturada y cizallada Bloques de pizarra o zona blanda Cuarcita con horizontes limoarenosos

NOTAS :

- 1.- LA ESCALA GRAFICA MOSTRADA ES PARA EL FORMATO A-1, PARA A-3 CONSIDERAR EL DOBLE
- 2.- DIMENSIONES EN MILIMETROS Y NIVELES EN METROS, SALVO INDICADO.
- 3.- USAR SOLO DIMENSIONES INDICADAS EN LOS PLANOS.



0	10/02/10	EMITIDO PARA CONSTRUCCIÓN	E.M.B.	H.S.D.					
REV. N°	FECHA	DESCRIPCION	REVISO	APROBO					

la energía de los peruanos

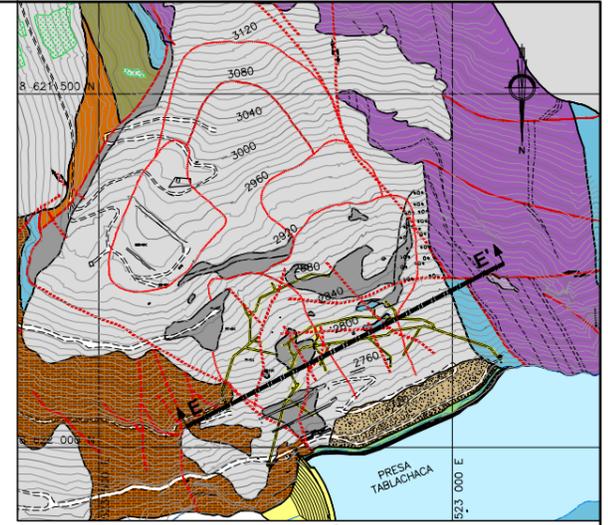
PROYECTO: **"Estudio Definitivo de las Obras de Estabilización Seleccionadas para El Derrumbe - 5"**

GEOLOGÍA

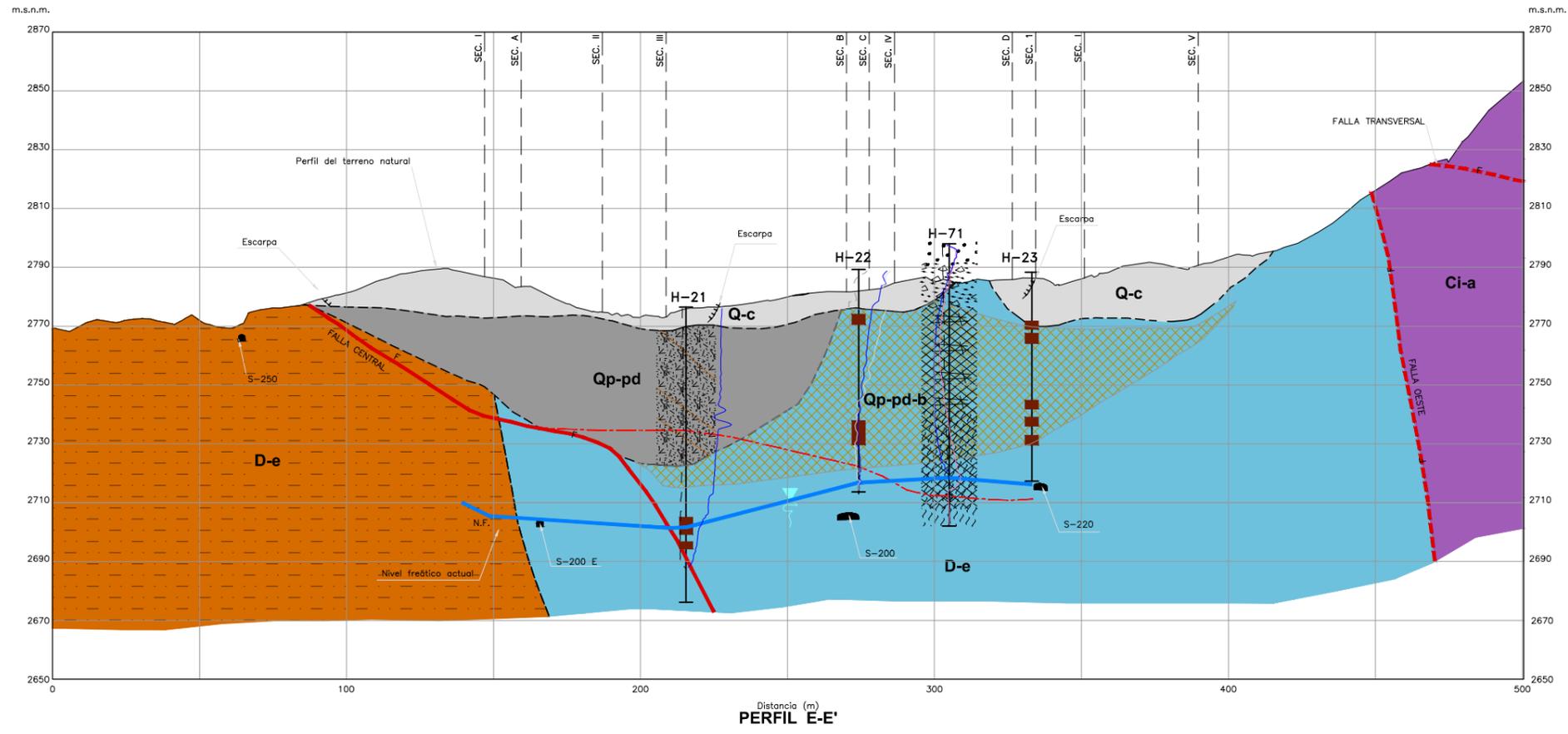
TITULO: DERRUMBE 5 PERFIL GEOLÓGICO D-D'	PLANO N°: CSL-093300-2-GE-003 5/10
ELABORO : V.U.C. DIBUJO : M.I.C.	REVISO : E.M.B. APROBO : H.S.D.
ESCALA : 1 : 1 500 FECHA : FEB-2010	REV. : 0 TRABAJO : 093300

SIMBOLOGÍA

	Falla geológica
	Falla geológica inferida
	Contacto litológico inferido
	Galería existente
	Perforación diamantina consorcio
	Superficie de deslizamiento
	Nivel freático actual
	Límite de brecha en registro de perforación
	Registro de inclinómetro
	Escarpa



UBICACIÓN
1:5 000



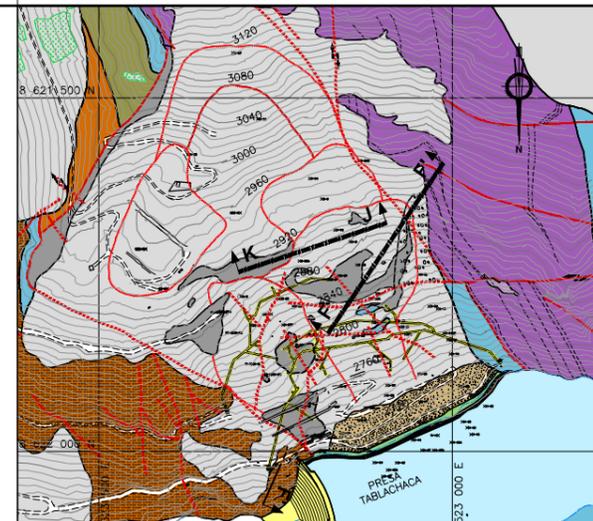
LEYENDA

CUATERNARIO	
	(Q-c) Coluvial: Fragmentos sueltos, tamaño grava gruesa y media, en matriz limo-arcillosa-arenosa.
	(Qp-pd) Paleoderrumbe: Bloques de esquistos muy fracturados o triturados con finos de limo-arcillosos gravosos. Espesor hasta 100 m.
	(Qp-pd-b) Brecha: Bloques de cuarcitas y filitas, muy fracturadas, de forma subangulosos, de color gris.
CARBONIANO INFERIOR-MEDIO	
	(Ci-a) Grupo Ambo: Metagracwa, metareniscas y filitas
DEVONIANO-Grupo Excelsior	
	(D-e) Pizarra
	(D-e) Esquistos y pizarras gris oscuro con intercalaciones de cuarcita.
INTERPRETACION DE PERFORACIONES DIAMANTINAS	
INGETEC-SVS H-21, H-22, H-23, H-68	CESEL H-71
	Dep. coluviales recientes. Arena gravosa medianamente densa
	Fragmentos angulosos de filita cuarcítica con horizontes de grava angulosa
	Pizarra negra triturada y cizallada
	Bloques de pizarra o zona blanda
	Bloques de pizarra o zona blanda

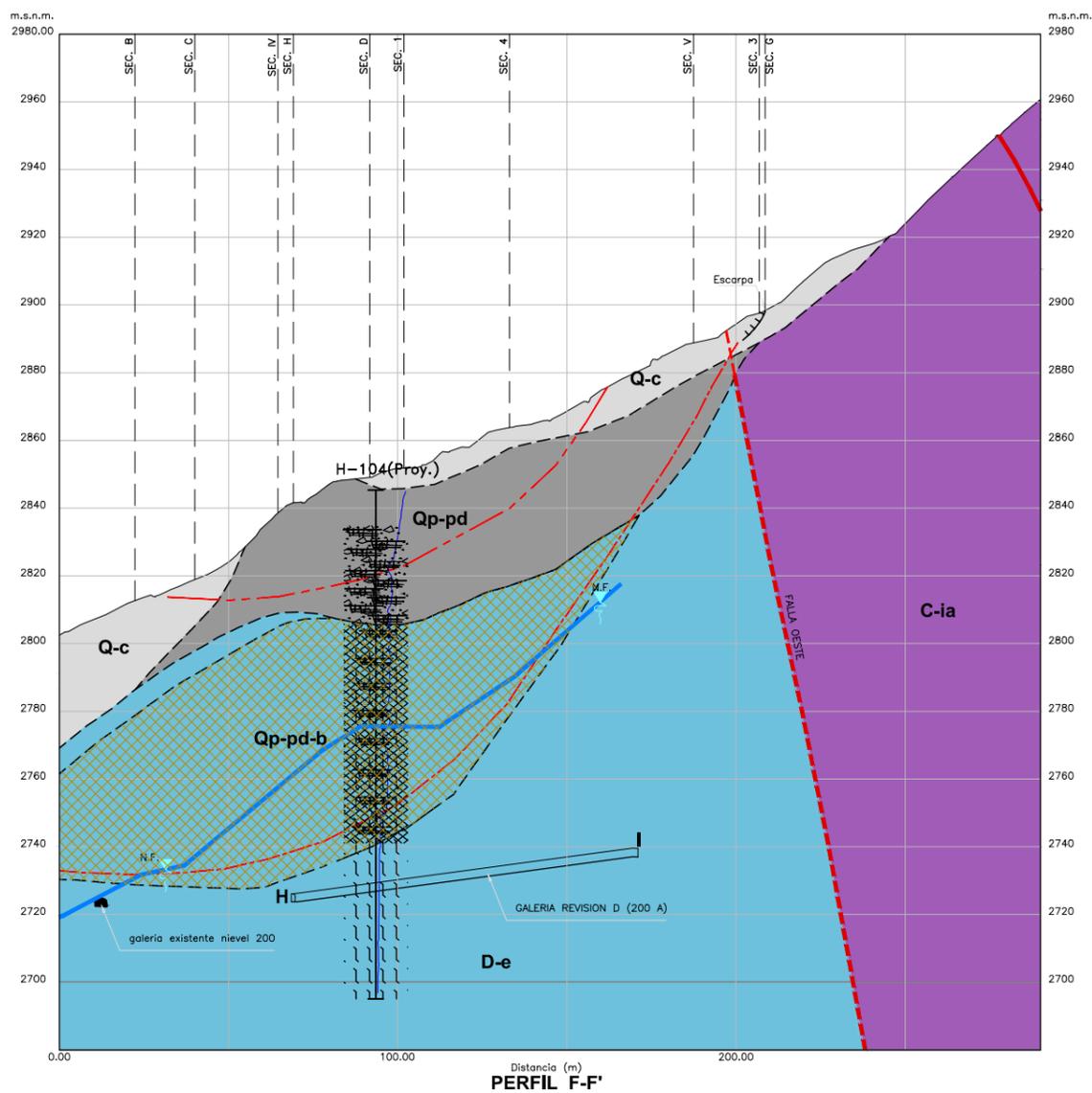
NOTAS :
 1.- LA ESCALA GRAFICA MOSTRADA ES PARA EL FORMATO A-1, PARA A-3 CONSIDERAR EL DOBLE
 2.- DIMENSIONES EN MILIMETROS Y NIVELES EN METROS, SALVO INDICADO.
 3.- USAR SOLO DIMENSIONES INDICADAS EN LOS PLANOS.



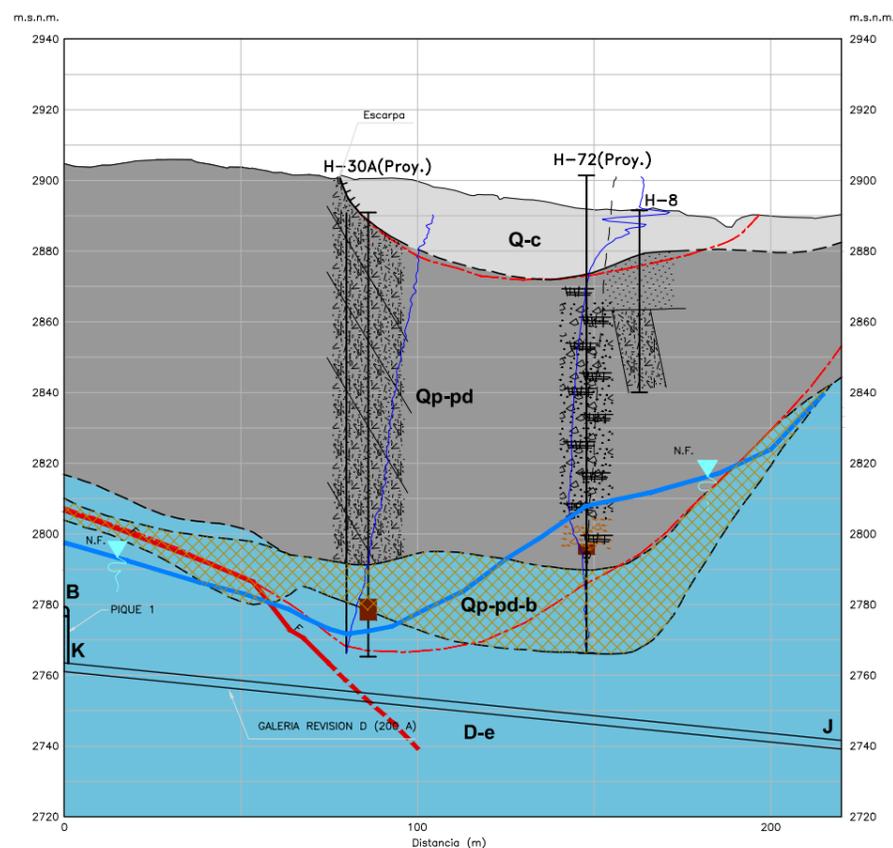
0	10/02/10	EMITIDO PARA CONSTRUCCIÓN	E.M.B.	H.S.D.
REV. N°	FECHA	DESCRIPCION	REVISO	APROBO
 la energía de los peruanos				
PROYECTO: "Estudio Definitivo de las Obras de Estabilización Seleccionadas para El Derrumbe - 5"				
GEOLOGÍA				
TITULO: DERRUMBE 5 PERFIL GEOLÓGICO E-E'			PLANO N°: CSL-093300-2-GE-003 6/10	
CESEL INGENIEROS	ELABORO : V.U.C.	REVISO : E.M.B.	ESCALA : 1 : 1 000	REV. : 0
	DIBUJO : M.I.C.	APROBO : H.S.D.	FECHA : FEB-2010	TRABAJO : 093300



UBICACIÓN
1:5 000



PERFIL F-F'

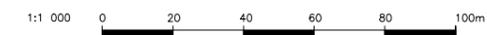


PERFIL K-K'

LEYENDA	
CUATERNARIO	
(Q-c) Coluvial: Fragmentos sueltos, tamaño grava gruesa y media, en matriz limo-arcillosa-arenosa.	
(Qp-pd) Paleoderrumbe: Bloques de esquistos muy fracturados a triturados con finos de limo-arcillosos gravosos. Espesor hasta 100 m.	
(Qp-pd-b) Brecha: Bloques de cuarcitas y filitas, muy fracturadas, de forma subangulosos, de color gris.	
CARBONIANO INFERIOR MEDIO	
(Ci-a) Grupo Ambo: Metagrawaca, metareniscas y filitas	
DEVONIANO-Grupo Excelsior	
(D-e) Pizarra	
INTERPRETACION DE PERFORACIONES DIAMANTINAS	
INGETEC-SVS H-30A, H-8	CESEL H-104, H-72
Fragmentos en matriz fina	Dep. coluviales recientes. Arena gruesa medianamente densa
Bloques de metarenisca	Fragmentos angulosos de filita cuarcifica con horizontes de grava angulosa
Bloques de esquistos o cuarcita	Pizarra negra triturada y cizallada
Bloques de pizarra o zona blanda	Bloques de pizarra o zona blanda

SIMBOLOGÍA		
	F	Falla geológica
	F	Falla geológica inferida
		Contacto litológico inferido
	Q-1 N-200	Galería existente nivel 200
	H-53	Perforación diamantina realizada
		Superficie de deslizamiento
	NF	Nivel freático actual
		Límite de brecha en registro de perforación
		Registro de inclinómetro
		Galerías Revisión D
		Escarpas

NOTAS :
1.- LA ESCALA GRÁFICA MOSTRADA ES PARA EL FORMATO A-1, PARA A-3 CONSIDERAR EL DOBLE
2.- USAR SOLO DIMENSIONES INDICADAS EN LOS PLANOS.

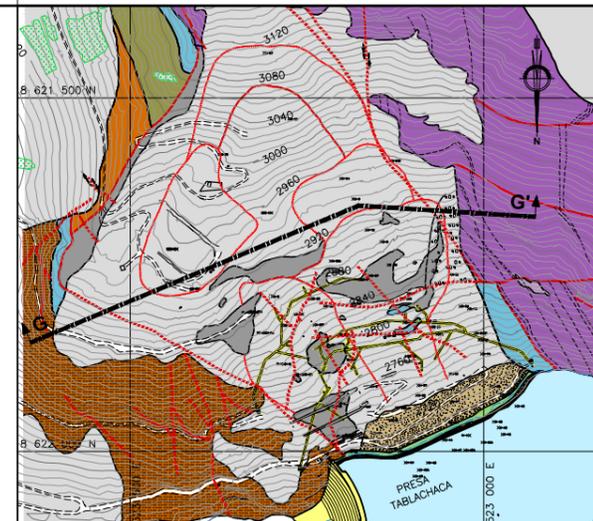


0	10/02/10	EMITIDO PARA CONSTRUCCIÓN	E.M.B.	H.S.D.
REV. N°	FECHA	DESCRIPCION	REVISO	APROBO



PROYECTO:		"Estudio Definitivo de las Obras de Estabilización Seleccionadas para El Derrumbe - 5"		
TITULO:		DERRUMBE 5 PERFIL GEOLÓGICO F-F' Y K-K'		
ELABORO :		REVISO :	ESCALA :	REV. :
H.C.A.		H.S.D.	1 : 1 000	0
DIBUJO :		APROBO :	FECHA :	TRABAJO :
M.I.C.		H.S.A.	FEB-2010	093300
PLANO N°:		CSL-093300-2-GE-003 7/10		



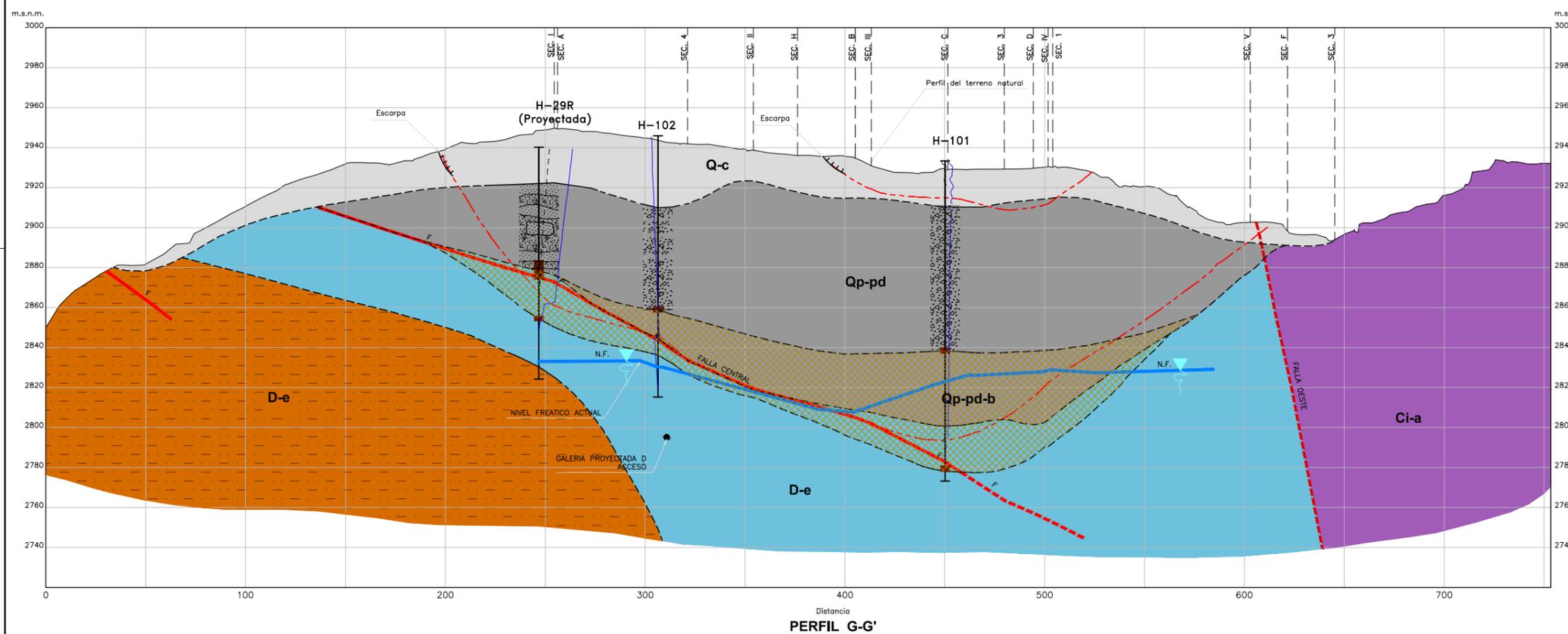
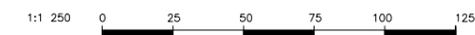


UBICACIÓN
1:5 000

LEYENDA	
CUATERNARIO	
	(Q-c) Coluvial: Fragmentos sueltos, tamaño grava gruesa y media, en matriz limo-arcillosa-arenosa.
	(Qp-pd) Paleoderrumbe: Bloques de esquistos muy fracturados a triturados con finos de limo-arcillosos gruesos. Espesor hasta 100 m.
	(Qp-pd-b) Brecha: Bloques de cuarcitas y filitas, muy fracturados, de forma subangulosos, de color gris.
CARBONIANO INFERIOR-MEDIO	
	(Ci-a) Grupo Ambo: Metagravaca, metareniscas y filitas
DEVONIANO-Grupo Excelsior	
	(D-e) Pizarra
	(D-e) Esquistos y pizarras gris oscuro con intercalaciones de cuarcita.
INTERPRETACION DE PERFORACIONES DIAMANTINAS	
INGETEC-SVS H-29R	CESEL H-101, H-102
	Fragmentos en matriz fina
	Bloques de metarenisca
	Bloques de esquisto o cuarcita
	Bloques de pizarra o zona blanda
	Dep. coluviales recientes. Arena gruesa medianamente densa
	Fragmentos angulosos de filita cuarcilica con horizontes de grava angular
	Pizarra negra triturada y cizallada
	Bloques de pizarra o zona blanda

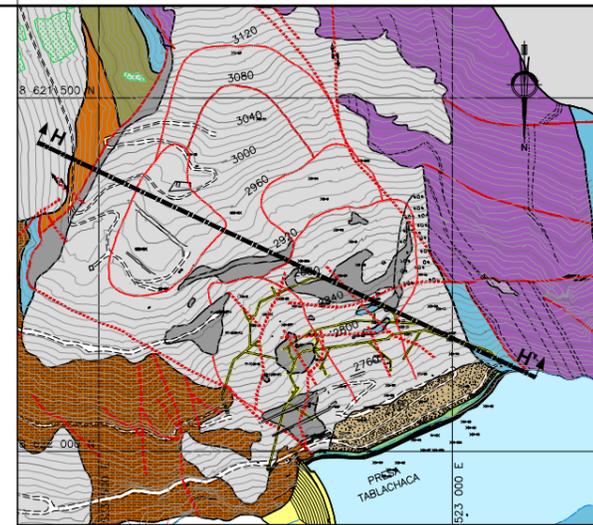
SIMBOLOGÍA	
	Falla geológica
	Falla geológica inferida
	Contacto litológico inferido
	Galería Revisión D
	H-53 Perforación diamantina ejecutada
	Superficie de deslizamiento
	Nivel freático actual
	Límite de brecha en registro de perforación
	Registro de inclinómetro
	Escarpa

NOTAS :
1.- LA ESCALA GRAFICA MOSTRADA ES PARA EL FORMATO A-1, PARA A-3 CONSIDERAR EL DOBLE
2.- USAR SOLO DIMENSIONES INDICADAS EN LOS PLANOS.

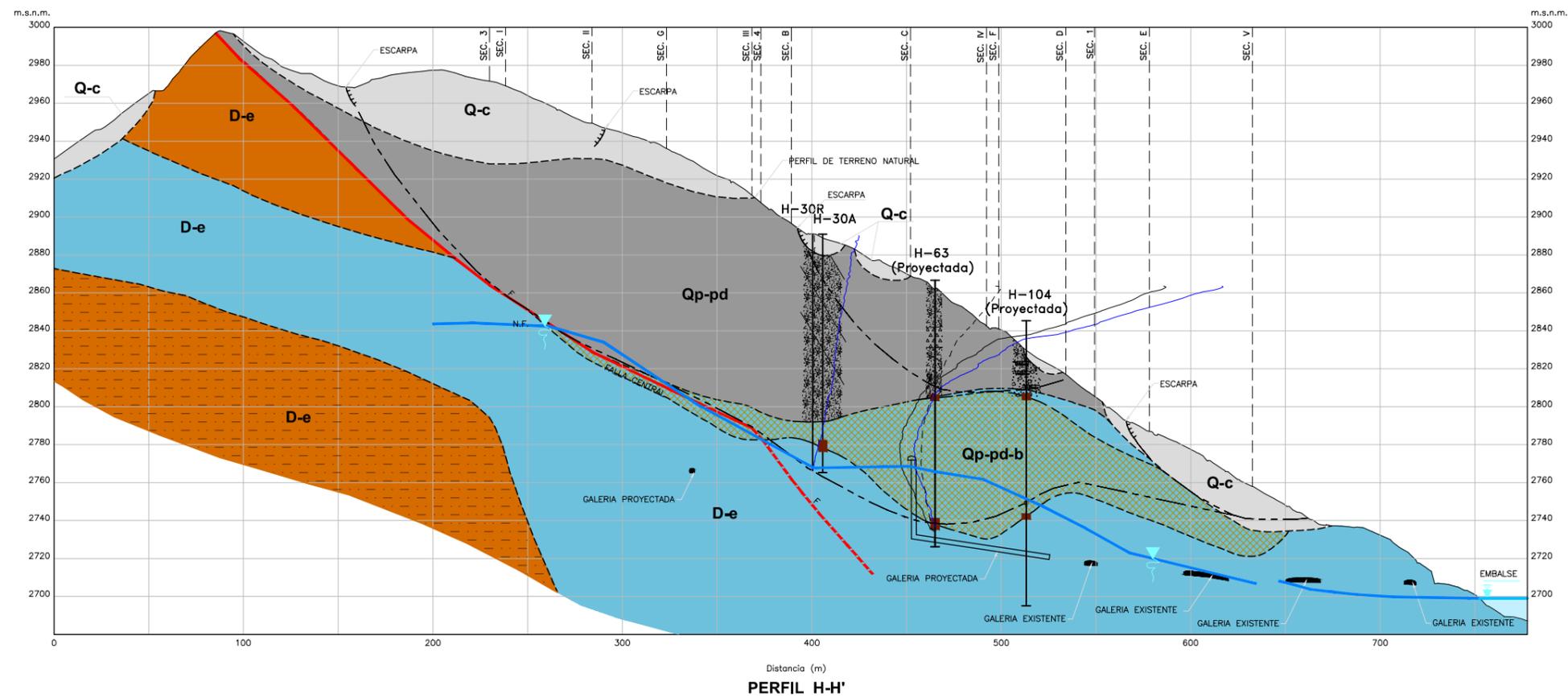


0	10/02/10	EMITIDO PARA CONSTRUCCIÓN	E.M.B.	H.S.D.	
REV. N°	FECHA	DESCRIPCION	REVISO	APROBO	
 la energía de los peruanos					
PROYECTO: "Estudio Definitivo de las Obras de Estabilización Seleccionadas para El Derrumbe - 5"					
GEOLOGÍA					
TITULO: DERRUMBE 5 PERFIL GEOLÓGICO G-G'			PLANO N°: CSL-093300-2-GE-003 8/10		
CESEL INGENIEROS		ELABORO : H.C.A. DIBUJO : M.I.C.	REVISO : E.M.B. APROBO : H.S.D.	ESCALA : 1 : 1 250 FECHA : FEB-2010	REV. : 0 TRABAJO : 093300

H:\GEOLOGIA\08 PROYECTOS\2009\31_093300 DERRUMBE 5\5 EMPA \1\01 ESTUDIO GALERIAS\04 PLANOS\REV 0\CSL-093300-2-GE-003_8-10 REV.0.DWG 01/11/10 16:17



UBICACIÓN
1:5 000

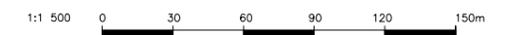


PERFIL H-H'

LEYENDA	
CUATERNARIO	
(Q-c) Coluvial: Fragmentos sueltos, tamaño grava gruesa y media, en matriz limo-arcillosa-arenosa.	
(Qp-pd) Paleoderrumbe: Bloques de esquistos muy fracturados o triturados con finos de limo-arcillosos gruesos. Espesor hasta 100 m.	
(Qp-pd-b) Brecha: Bloques de cuarcitas y filitas, muy fracturados, de forma subangulosos, de color gris.	
DEVONIANO-Grupo Excelsior	
(D-e) Pizarra	
(D-e) Esquisto	
(D-e) Esquistos y pizarras gris oscuro con intercalaciones de cuarcita.	
INTERPRETACION DE PERFORACIONES DIAMANTINAS	
INGETEC-SVS H-30A, H-30R, H-63	CESEL H-104
Fragmentos en matriz fina	Dep. coluviales recientes. Arena gruesa medianamente densa
Bloques de metaresaca	Fragmentos angulosos de filita cuarcítica con horizontes de grava angulosos
Bloques de esquisto o cuarcita	Pizarra negra triturada y cizallada
Bloques de pizarra o zona blanda	Bloques de pizarra o zona blanda

SIMBOLOGÍA	
F	Falla geológica
C-1	Contacto litológico inferido
G-1 N-250	Galerías existentes nivel 250 y nivel 200
H-53	Perforación diamantina ejecutada
S	Superficie de deslizamiento
NF	Nivel freático actual
B	Límite de brecha en registro de perforación
I	Registro de inclinómetro
R	Galería Revision D
E	Escarpa

NOTAS :
1.- LA ESCALA GRAFICA MOSTRADA ES PARA EL FORMATO A-1, PARA A-3 CONSIDERAR EL DOBLE
2.- USAR SOLO DIMENSIONES INDICADAS EN LOS PLANOS.



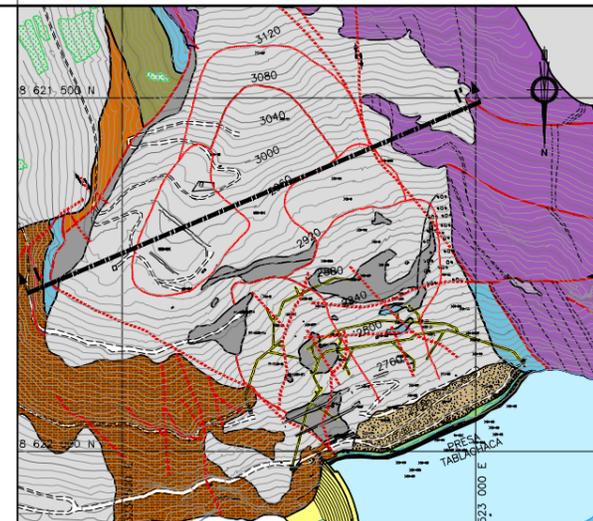
REV. N°	FECHA	DESCRIPCION	REVISOR	APROBADO
0	10/02/10	EMITIDO PARA CONSTRUCCIÓN	E.M.B.	H.S.D.

PROYECTO: **"Estudio Definitivo de las Obras de Estabilización Seleccionadas para El Derrumbe - 5"**

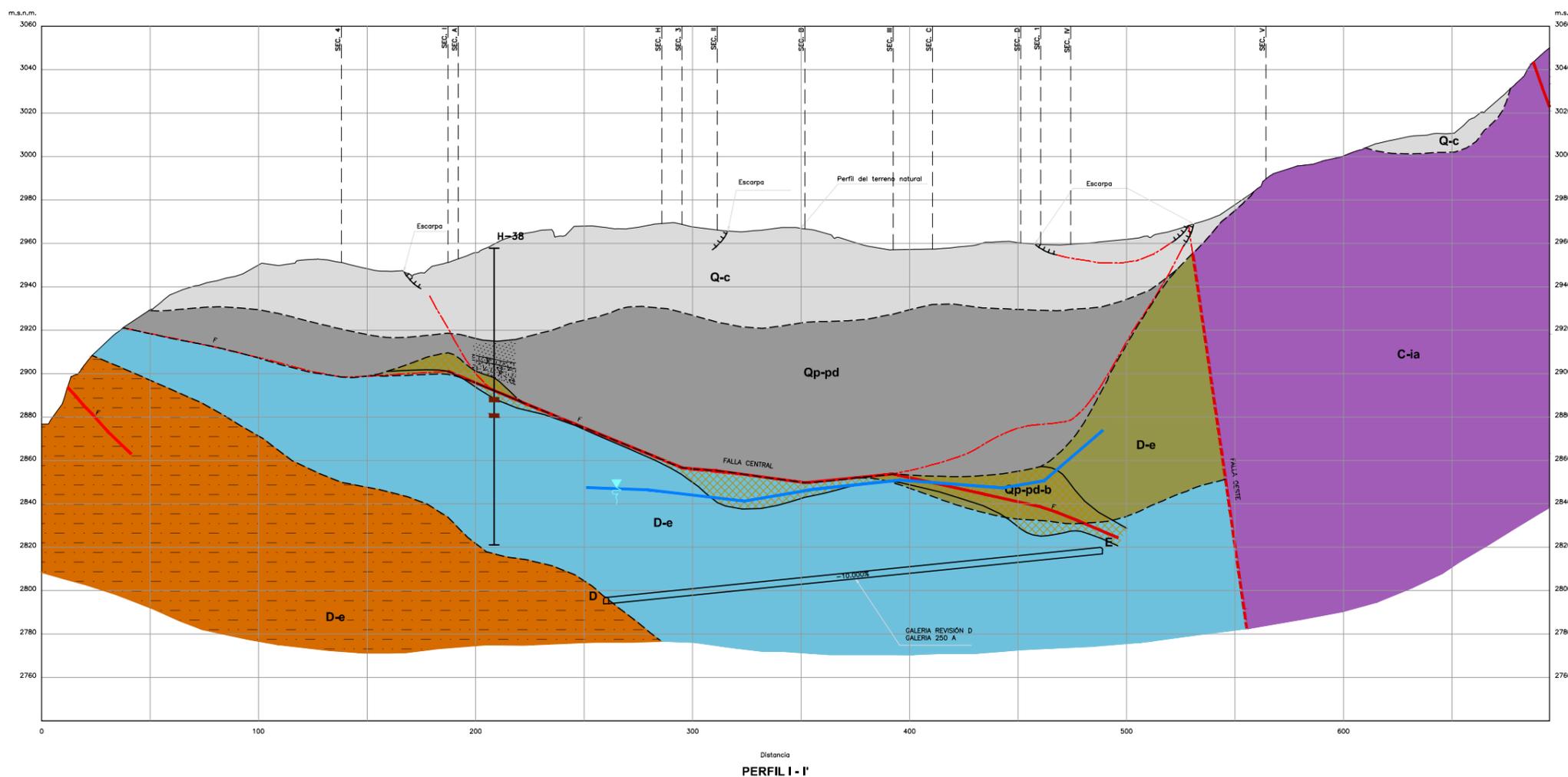
GEOLOGÍA

TITULO: DERRUMBE 5 PERFIL GEOLÓGICO H-H'	PLANO N°: CSL-093300-2-GE-003 9/10
--	--

ELABORO : H.C.A.	REVISO : E.M.B.	ESCALA : 1 : 1 500	REV. : 0
DIBUJO : M.I.C.	APROBO : H.S.D.	FECHA : FEB-2010	TRABAJO : 093300



UBICACIÓN
1:5 000



PERFIL I - I'

LEYENDA	
CUATERNARIO	
	Q-c) Coluvial: Fragmentos sueltos, tamaño grava grueso y medio, en matriz limo-arcillosa-arenosa.
	Qp-pd) Paleoderrumbe: Bloques de esquistos muy fracturados o triturados con finos de limo-arcillosos gruesos. Espesor hasta 100 m.
	Qp-pd-b) Brecha: Bloques de cuarcitas y filitas, muy fracturados, de forma subangulosos, de color gris.
CARBONIANO INFERIOR-MEDIO	
	Ci-a) Grupo Ambo: Metagrawaca, metareniscas y filitas
DEVONIANO-Grupo Excelsior	
	D-e) Pizarra
	D-e) Cuarcita
	D-e) Esquistos y pizarras gris oscuro con intercalaciones de cuarcita.
INTERPRETACION DE PERFORACIONES DIAMANTINAS	
INGETEC-SVS H-38	CESEL
	Fragmentos en matriz fina
	Bloques de metarenisca
	Bloques de esquistos o cuarcita
	Bloques de pizarra o zona blanda

SIMBOLOGÍA	
	Falla geológica
	Falla geológica inferida
	Contacto litológico inferido
	REVISION D Galería 250 A
	H-38 Perforación diamantina ejecutada
	Superficie de deslizamiento
	NF Nivel freático actual
	Limite de brecha en registro de perforación
	Escarpa

NOTAS :
 1.- LA ESCALA GRAFICA MOSTRADA ES PARA EL FORMATO A-1, PARA A-3 CONSIDERAR EL DOBLE
 2.- USAR SOLO DIMENSIONES INDICADAS EN LOS PLANOS.

1:1 000 0 20 40 60 80 100m

REV. N°	FECHA	DESCRIPCION	REVISO	APROBO
0	10/02/10	EMITIDO PARA CONSTRUCCIÓN	E.M.B.	H.S.D.

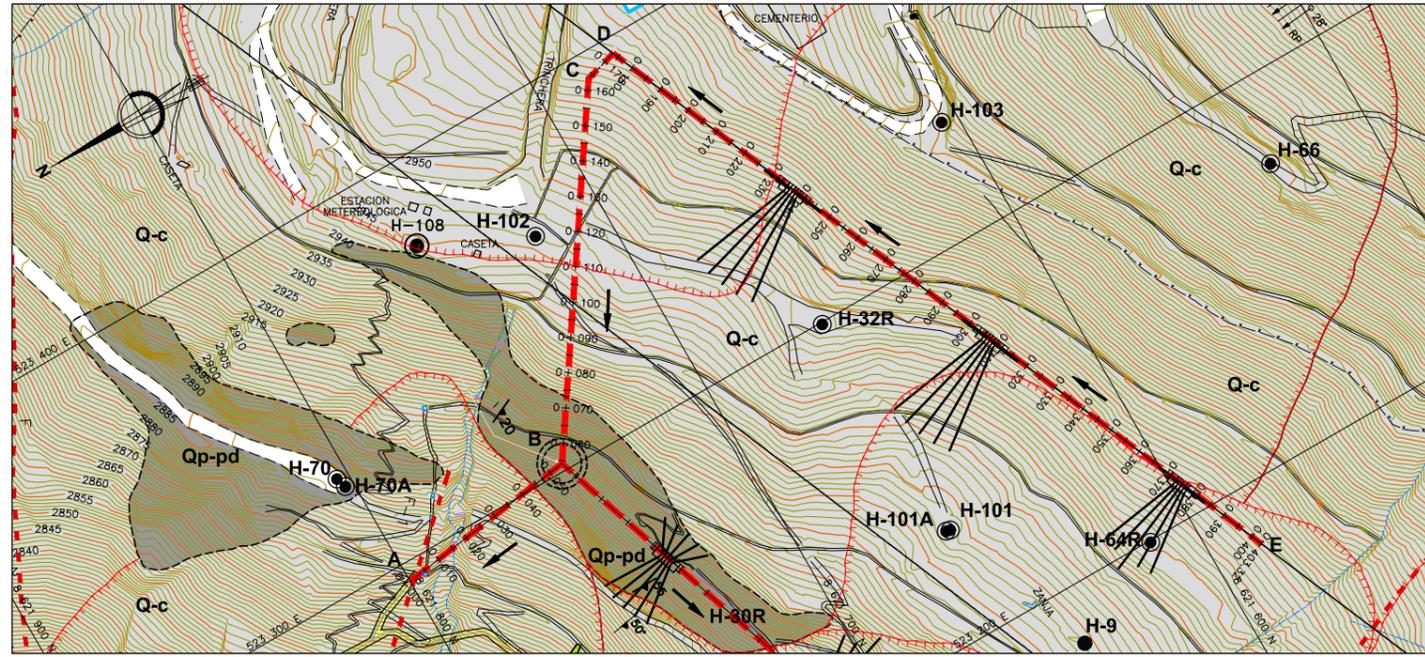
electroperu
la energía de los peruanos

PROYECTO: "Estudio Definitivo de las Obras de Estabilización Seleccionadas para El Derrumbe - 5"

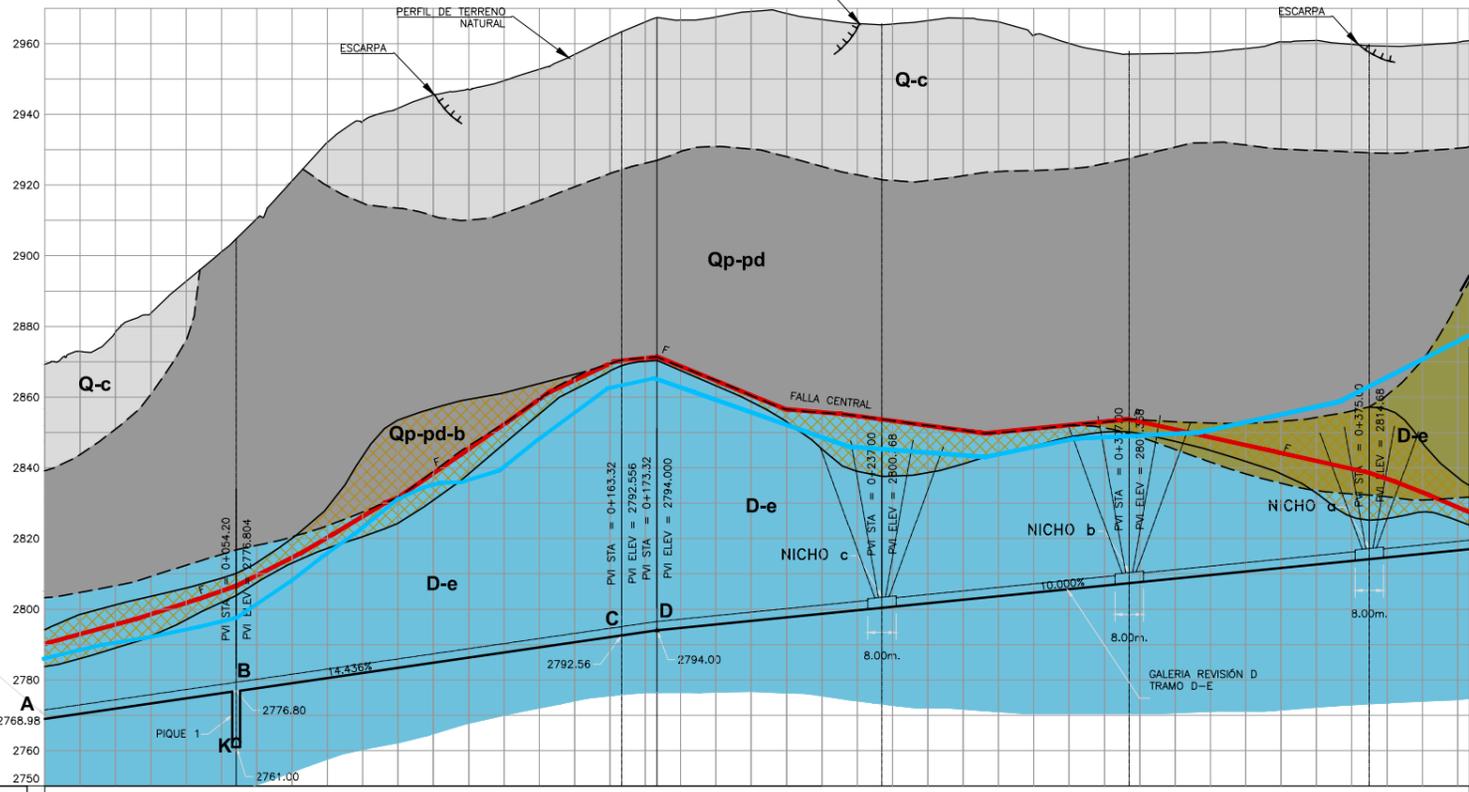
GEOLOGÍA

TITULO: **PERFIL GEOLÓGICO I-I'** PLANO N°: **CSL-093300-2-GE-003 10/10**

ELABORO : H.C.A.	REVISO : E.M.B.	ESCALA : 1 : 1 000	REV. : 0
DIBUJO : M.I.C.	APROBO : H.S.D.	FECHA : FEB-2010	TRABAJO : 093300



PLANTA
1:1 000



DISTANCIA PARCIAL	0+000 to 0+400																					
PROGRESIVA	0+000	0+020	0+040	0+060	0+080	0+100	0+120	0+140	0+160	0+180	0+200	0+220	0+240	0+260	0+280	0+300	0+320	0+340	0+360	0+380	0+400	
COTA DE TERRENO	2869.19	2872.89	2878.37	2883.78	2889.22	2894.70	2899.10	2903.55	2908.05	2912.50	2916.95	2921.40	2925.85	2930.30	2934.75	2939.20	2943.65	2948.10	2952.55	2957.00	2961.45	2965.90
COTA RASANTE	2768.98	2770.42	2771.87	2773.31	2774.75	2776.20	2777.64	2779.09	2780.53	2781.97	2783.42	2784.86	2786.30	2787.75	2789.19	2790.63	2792.08	2793.52	2794.97	2796.41	2797.85	2799.29
COBERTURA (m)	35 a 88m (Qp-pd)				54 a 100m (Op-pd)				54m Op-pd	54 a 78m (Op-pd)												
LITOLÓGIA	FORMACIÓN		Grupo Excelsior										Grupo Excelsior									
	TIPO DE ROCA		ROCA METAMORFICA: PIZARRA CARBONOZA, FOLIADO Y GRIS										ROCA METAMORFICA: PIZARRA CARBONOZA FOLIADO Y GRIS									
CLASIFICACIÓN DEL MACIZO ROCOSO	RMR	55-40-33										55-40-33										
	Q	5.33-2.91-0.83										5.33-2.91-0.83										
CALIDAD DE ROCA	Regular a muy mala										Regular a muy mala											
CLASIFICACIÓN UTILIZADA EN EL PERÚ (COSTOS)	TIPO III = 60%		TIPO III = 60%										TIPO III = 70%									
	TIPO IV = 30%		TIPO IV = 30%										TIPO IV = 25%									
	TIPO V = 10%		TIPO V = 10%										TIPO V = 05%									

PERFIL LONGITUDINAL - GALERÍA 250A
ESC: 1:1 000

LEYENDA

- (Q-c) Coluvial: Fragmentos sueltos, tamaño grava gruesa y media, en matriz limo-arcillosa-arenosa.
- (Op-pd) Paleoderrumbe: Bloques de esquistos muy fracturados a triturados con finos de limo-arcillosos gravosos. Espesor hasta 100 m.
- (Op-pd-b) Brecha: Bloques de cuarcitas y filitas, muy fracturados, de forma subangulosos, de color gris.

CARBONIANO INFERIOR-MEDIO

- (Ci-a) Grupo Amba: Metagwacka, metareniscas y filitas

DEVONIANO-Grupo Excelsior

- (D-e) Pizarra
- (D-e) Cuarzita

SIMBOLOGIA

	CURVAS MAESTRAS
	CURVAS SECUNDARIAS
	ACCESO
	CAMINO DE HERRADURA
	CAMINO PEATONAL
	CANAL
	RIO, QUEBRADA
	FARALLON
	PERFORACION DIAMANTINA
	PERFORACION DIAMANTINA, INCLINÓMETRO Y PIEZÓMETRO
	DIRECCIÓN DE FLUJO DE AGUA
	TRAZO DE GALERIAS PROYECTADAS
	NICHO PARA PERFORACIONES DE DRENAJE
	PIQUE
	GALERIA REVISIÓN D
	FALLA GEOLÓGICA
	NIVEL FREÁTICO
	ESCARPA

NOTAS :
 1.- LA ESCALA GRAFICA MOSTRADA ES PARA EL FORMATO A-1, PARA A-3 CONSIDERAR EL DOBLE
 2.- USAR SOLO DIMENSIONES INDICADAS EN LOS PLANOS.



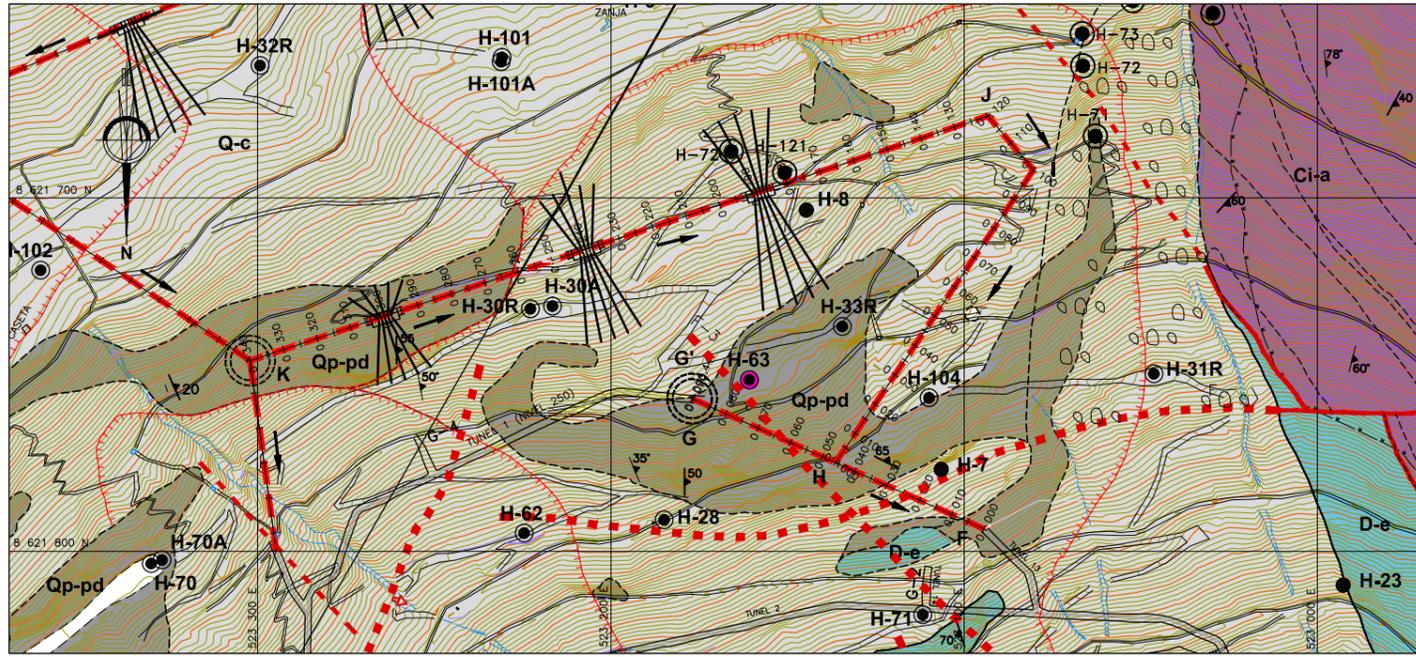
0	17/03/10	EMITIDO PARA CONSTRUCCIÓN	E.M.B.	H.S.D.
REV. N°	FECHA	DESCRIPCION	REVISO	APROBO

la energía de los peruanos

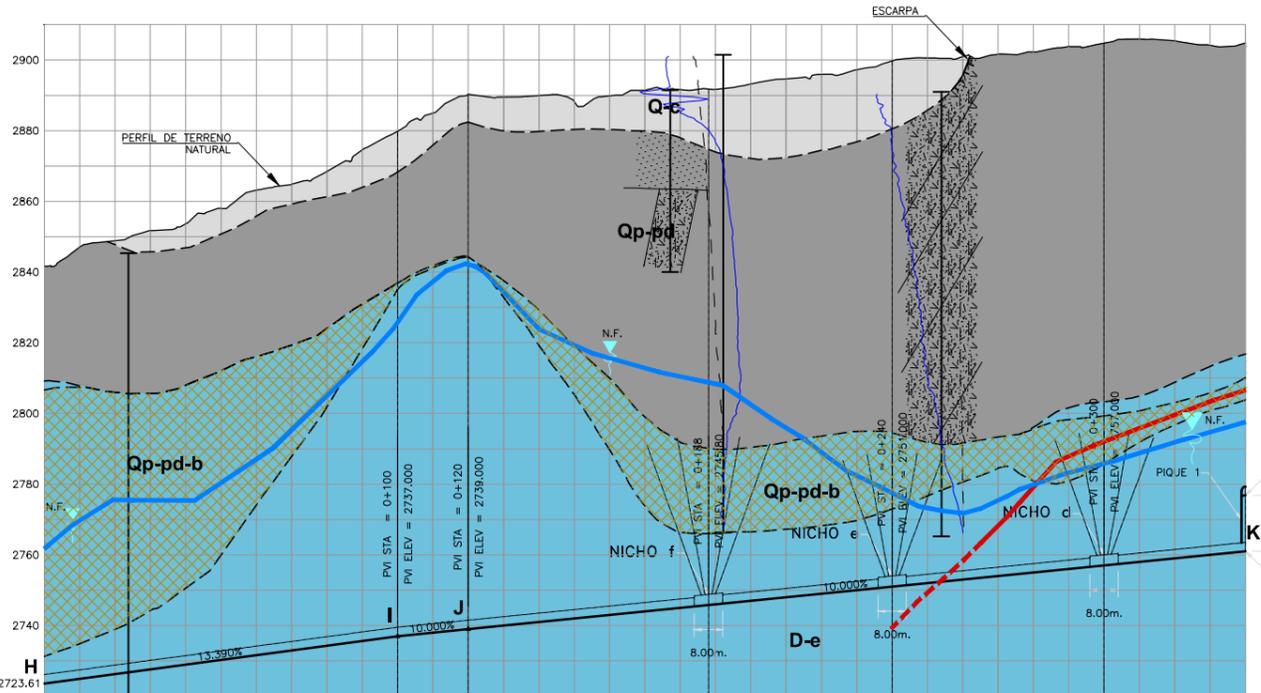
PROYECTO: "Estudio Definitivo de las Obras de Estabilización Seleccionadas para El Derrumbe - 5"

GEOLOGIA

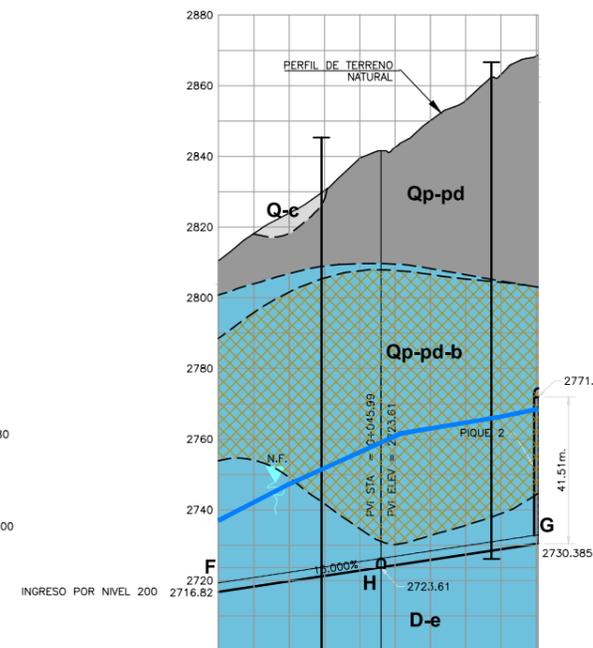
TITULO:	DERRUMBE 5 PERFIL LONGITUDINAL GALERÍA 250A	PLANO N°:	CSL-093300-02-GE-005
ELABORO :	R.M.G.	REVISO :	E.M.B.
DIBUJO :	M.I.C.	APROBO :	H.S.D.
ESCALA :	1 : 1 000	FECHA :	MAR. 2 010
TRABAJO :	093300		



PLANTA
1:1 000



PERFIL LONGITUDINAL - GALERÍA 200A
ESC: 1:1 000



PERFIL LONGITUDINAL - GALERÍA 200A
ESC: 1:1 000

DISTANCIA PARCIAL	100.00m.										20.00m.					68.00m.					52.00m.					60.00m.					40.00m.																																																																																																																																											
PROGRESIVA	0+000					0+020					0+040					0+060					0+080					0+100					0+120					0+140					0+160					0+180					0+200					0+220					0+240					0+260					0+280					0+300					0+320					0+340																																																																																				
COTA DE TERRENO	2841.62	2841.62	2841.62	2841.62	2841.62	2845.86	2845.86	2845.86	2845.86	2845.86	2851.67	2851.67	2851.67	2851.67	2851.67	2853.59	2853.59	2853.59	2853.59	2853.59	2857.96	2857.96	2857.96	2857.96	2857.96	2863.15	2863.15	2863.15	2863.15	2863.15	2864.80	2864.80	2864.80	2864.80	2864.80	2865.46	2865.46	2865.46	2865.46	2865.46	2874.56	2874.56	2874.56	2874.56	2874.56	2879.76	2879.76	2879.76	2879.76	2879.76	2884.93	2884.93	2884.93	2884.93	2884.93	2890.32	2890.32	2890.32	2890.32	2890.32	2895.46	2895.46	2895.46	2895.46	2895.46	2899.95	2899.95	2899.95	2899.95	2899.95	2904.24	2904.24	2904.24	2904.24	2904.24	2908.83	2908.83	2908.83	2908.83	2908.83	2911.44	2911.44	2911.44	2911.44	2911.44	2911.60	2911.60	2911.60	2911.60	2911.60	2911.67	2911.67	2911.67	2911.67	2911.67	2915.18	2915.18	2915.18	2915.18	2915.18	2914.62	2914.62	2914.62	2914.62	2914.62	2915.92	2915.92	2915.92	2915.92	2915.92	2917.27	2917.27	2917.27	2917.27	2917.27	2919.73	2919.73	2919.73	2919.73	2919.73	2920.57	2920.57	2920.57	2920.57	2920.57	2920.95	2920.95	2920.95	2920.95	2920.95	2901.58	2901.58	2901.58	2901.58	2901.58	2902.24	2902.24	2902.24	2902.24	2902.24	2903.74	2903.74	2903.74	2903.74	2903.74	2904.77	2904.77	2904.77	2904.77	2904.77	2905.89	2905.89	2905.89	2905.89	2905.89	2905.42	2905.42	2905.42	2905.42	2905.42	2904.18	2904.18	2904.18	2904.18	2904.18	2904.76	2904.76	2904.76	2904.76	2904.76
COTA RASANTE	2723.61	2723.61	2723.61	2723.61	2723.61	2726.29	2726.29	2726.29	2726.29	2726.29	2727.63	2727.63	2727.63	2727.63	2727.63	2728.97	2728.97	2728.97	2728.97	2728.97	2730.30	2730.30	2730.30	2730.30	2730.30	2731.64	2731.64	2731.64	2731.64	2731.64	2732.98	2732.98	2732.98	2732.98	2732.98	2734.32	2734.32	2734.32	2734.32	2734.32	2735.66	2735.66	2735.66	2735.66	2735.66	2737.00	2737.00	2737.00	2737.00	2737.00	2738.00	2738.00	2738.00	2738.00	2738.00	2739.00	2739.00	2739.00	2739.00	2739.00	2740.00	2740.00	2740.00	2740.00	2740.00	2741.00	2741.00	2741.00	2741.00	2741.00	2742.00	2742.00	2742.00	2742.00	2742.00	2743.00	2743.00	2743.00	2743.00	2743.00	2744.00	2744.00	2744.00	2744.00	2744.00	2745.00	2745.00	2745.00	2745.00	2745.00	2746.00	2746.00	2746.00	2746.00	2746.00	2747.00	2747.00	2747.00	2747.00	2747.00	2748.00	2748.00	2748.00	2748.00	2748.00	2749.00	2749.00	2749.00	2749.00	2749.00	2750.00	2750.00	2750.00	2750.00	2750.00	2751.00	2751.00	2751.00	2751.00	2751.00	2752.00	2752.00	2752.00	2752.00	2752.00	2753.00	2753.00	2753.00	2753.00	2753.00	2754.00	2754.00	2754.00	2754.00	2754.00	2755.00	2755.00	2755.00	2755.00	2755.00	2756.00	2756.00	2756.00	2756.00	2756.00	2757.00	2757.00	2757.00	2757.00	2757.00	2758.00	2758.00	2758.00	2758.00	2758.00	2759.00	2759.00	2759.00	2759.00	2759.00	2760.00	2760.00	2760.00	2760.00	2760.00	2761.00	2761.00	2761.00	2761.00	2761.00
COBERTURA	32 a 41 Qp-pd					05 a 20 = Q-c										20 a 26 = Q-c										33 a 106 = Qp-pd																																																																																																																																																
LITOLÓGIA	FORMACIÓN D-e					FORMACIÓN D-e										FORMACIÓN D-e																																																																																																																																																										
TIPO DE ROCA	ROCA METAMORFICA PIZARRA CARBONAZA																																																																																																																																																																									
CLASIFICACIÓN DEL MACIZO ROCOSO	RMR 55-40-33					RMR 5.33-2.91-0.83										RMR 55-40-33										RMR 5.33-2.91-0.83																																																																																																																																																
CLASIFICACIÓN UTILIZADA EN EL PERÚ (COSTOS)	TIPO III = 60% TIPO IV = 30% TIPO V = 10%					TIPO III = 60% TIPO IV = 30% TIPO V = 10%										TIPO III = 70% TIPO IV = 25% TIPO V = 05%										TIPO III = 30% TIPO IV = 60% TIPO V = 10%																																																																																																																																																

DISTANCIA PARCIAL	90.44m.									
PROGRESIVA	0+000		0+020		0+040		0+060		0+080	
COTA DE TERRENO	2716.82	2716.82	2718.16	2718.16	2719.82	2719.82	2721.32	2721.32	2722.82	2722.82
COTA RASANTE	2716.82	2716.82	2718.32	2718.32	2719.82	2719.82	2721.32	2721.32	2722.82	2722.82
COBERTURA	33 a 106 = Qp-pd									
LITOLÓGIA	FORMACIÓN D-e									
TIPO DE ROCA	ROCA METAMORFICA PIZARRA CARBONAZA									
CLASIFICACIÓN DEL MACIZO ROCOSO	RMR 55-40-33									
CLASIFICACIÓN UTILIZADA EN EL PERÚ (COSTOS)	TIPO III = 30% TIPO IV = 60% TIPO V = 10%									

LEYENDA

- (Q-c) Coluvial: Fragmentos sueltos, tamaño grava gruesa y media, en matriz limo-arcillosa-arenosa.
- (Qp-pd) Paleoderrumbe: Bloques de esquistos muy fracturados o triturados con finos de limo-arcillosos gruesos. Espesor hasta 100 m.
- (Qp-pd-b) Brecha: Bloques de cuarcitas y filitas, muy fracturadas, de forma subangulosos, de color gris.

CARBONIANO INFERIOR-MEDIO

- (Ci-a) Grupo Ambo: Metagracwa, metareniscos y filitas

DEVONIANO-Grupo Excelsior

- (D-e) Pizarra
- (D-e) Cuarcita

SIMBOLOGIA

	CURVAS MAESTRAS
	CURVAS SECUNDARIAS
	ACCESO
	CAMINO DE HERRADURA
	CAMINO PEATONAL
	CANAL
	RIO, QUEBRADA
	FARALLON
	PERFORACION DIAMANTINA
	PERFORACION DIAMANTINA, INCLINOMETRO Y PIEZOMETRO
	DIRECCION DE FLUJO DE AGUA
	TRAZO DE GALERIAS PROYECTADAS
	NICHO PARA PERFORACIONES DE DRENAJE
	PIQUE
	GALERIA REVISIÓN D
	FALLA GEOLÓGICA
	FALLA GEOLÓGICA INFERIDA
	NIVEL FREÁTICO
	CAIDA DE ROCA
	ESCARPA

NOTAS :
1.- LA ESCALA GRAFICA MOSTRADA ES PARA EL FORMATO A-1, PARA A-3 CONSIDERAR EL DOBLE
2.- USAR SOLO DIMENSIONES INDICADAS EN LOS PLANOS.



REV. N°	FECHA	DESCRIPCION	REVISO	APROBO
0	17/03/10	EMITIDO PARA CONSTRUCCIÓN	E.M.B.	H.S.D.

electroperu
la energía de los peruanos

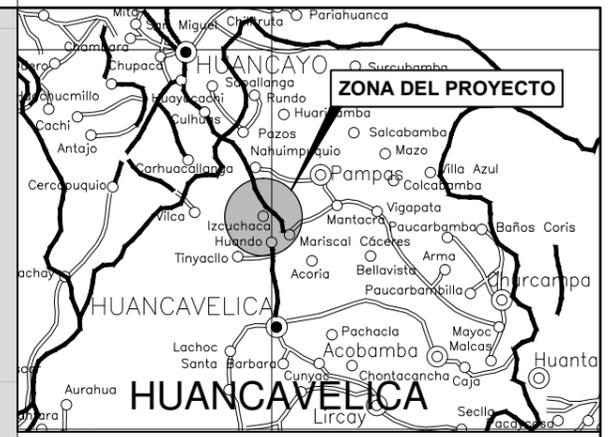
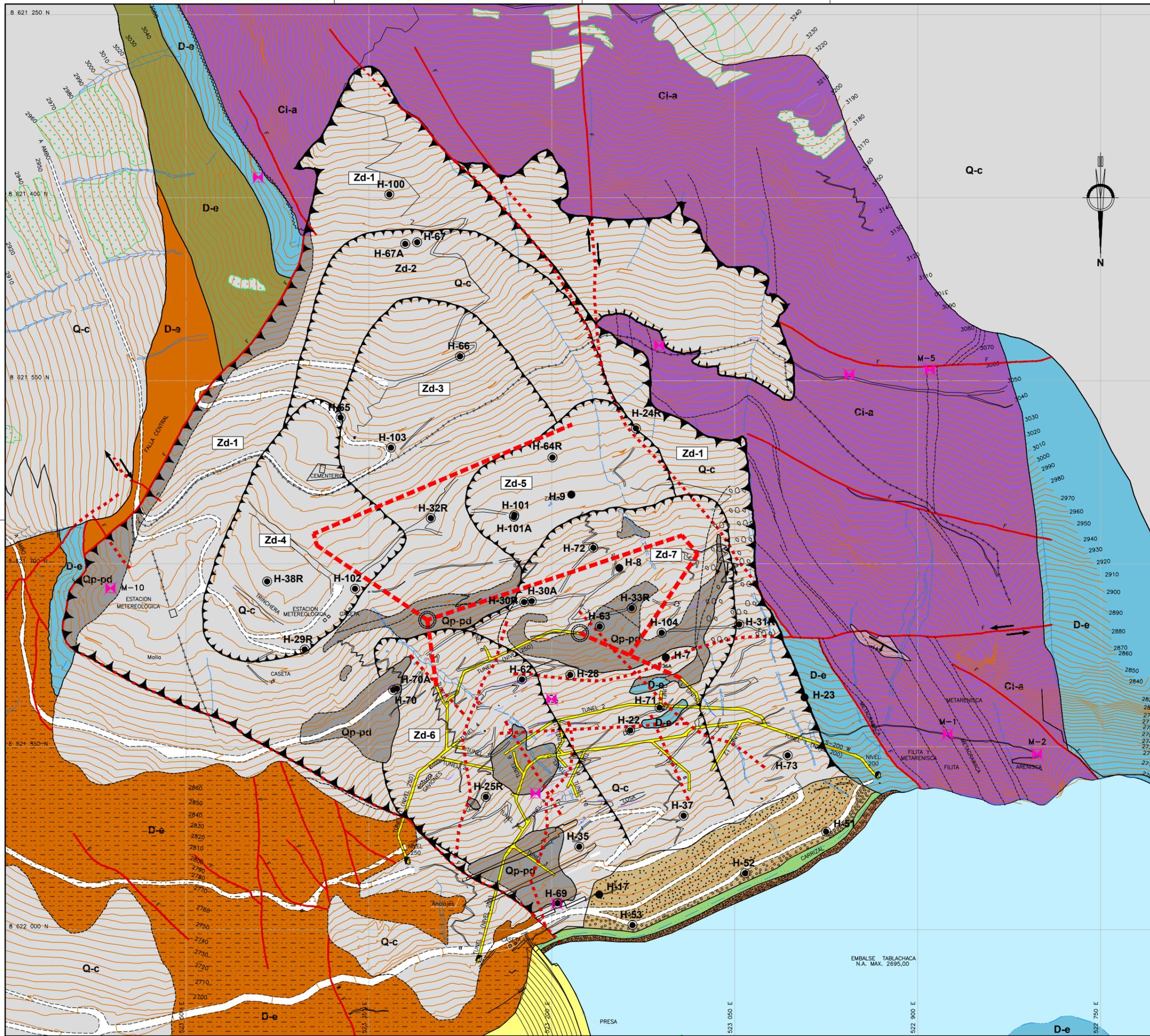
PROYECTO: **"Estudio Definitivo de las Obras de Estabilización Seleccionadas para El Derrumbe - 5"**

GEOTECNIA

TITULO: **DERRUMBE 5**
PERFIL LONGITUDINAL GALERÍA 200A

PLANO N°: **CSL-093300-02-GE-006**

ELABORO : R.M.G.	REVISO : E.M.B.	ESCALA : 1 : 1 000	REV. : 0
DIBUJO : M.I.C.	APROBO : H.S.D.	FECHA : MAR. 2 010	TRABAJO : 093300



UBICACION S/E

LEYENDA

- CUATERNARIO**
- (Q-c) Coluvial: Fragmentos sueltos, tamaño grava gruesa y media, en matriz limo-arcillosa-arenosa.
 - (Qp-pd) Paleoderrumbe: Bloques de esquistos muy fracturados e triturados con finas de limo-arcillosos gruesos. Espesor hasta 100 m.
 - (Qp-cp) Coluvial de Pizarra: Conformado por arcilla negra, dureza media con planos de fricción, con algunos bloques de pizarra meteorizada intemperizada, espesor hasta 40 m. En el contacto inferior arcilla hasta de 1,50 m de espesor.
- CARBONIANO INFERIOR-MEDIO**
- (Ci-a) Grupo Armo: Metagrawaca, metareniscas y filitas
- DEVONIANO-Grupo Excelsior**
- (D-e) Pizarra
 - (D-e) Esquísto
 - (D-e) Esquistos y pizarras gris oscuro con intercalaciones de cuarcita.

SIMBOLOGIA

- Perforación diamantina
- Perforación diamantina, inclinómetro y piezómetro.
- ✱ Muestra superficial
- Pique
- Contacto litológico
- Fallo geológica
- Fallo geológica inferida
- Perímetro de Deslizamiento antiguo
- Cese Galería Projectada D
- Galerías existentes
- Áreas de cultivo
- Trocha de acceso
- Discordancia
- Escarpa de deslizamiento
- Malla de protección
- 12° Rumbo y buzamiento de foliación
- 15° Rumbo y buzamiento de los estratos
- 41° Rumbo y buzamiento de ladera potencialmente inestable
- 35° 28° Inclinación de ladera y coluvio, estable e inestable.
- RP RP Pendiente de ladera y coluvio, moderada y pronunciada.
- Zd-7 Zona de desplazamiento
- Portal de Galería 200 - 250
- Camino Peatonal
- Ladera de cerro inestable
- Caída de detritos rocosos

NOTAS :
 1.- LA ESCALA GRAFICA MOSTRADA ES PARA EL FORMATO A-1, PARA A-3 CONSIDERAR EL DOBLE
 2.- USAR SOLO DIMENSIONES INDICADAS EN LOS PLANOS.

1:1 500 0 30 60 90 120 150 m.

0	10/02/10	EMITIDO PARA CONSTRUCCIÓN	E.M.B.	H.S.D.
REV. N°	FECHA	DESCRIPCION	REVISO	APROBO



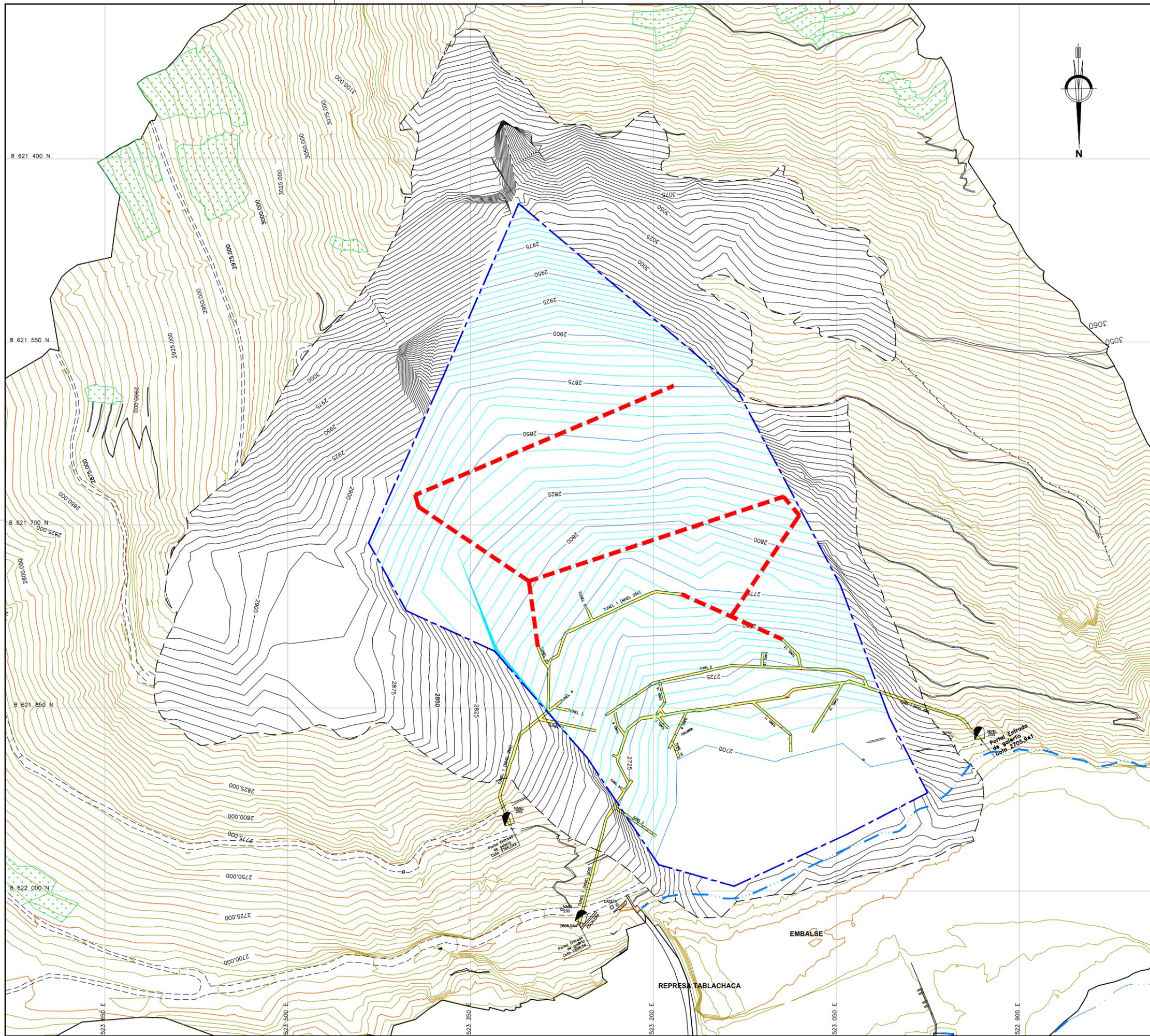
PROYECTO: "Estudio Definitivo de las Obras de Estabilización Seleccionadas para El Derrumbe - 5"

GEOLOGÍA

TITULO: **DERRUMBE 5 ZONAS DE DESPLAZAMIENTO**

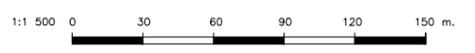
PLANO N°: **CSL-093300-GE-007**

CESEL INGENIEROS	ELABORO :	REVISO :	ESCALA :	REV. :
	V.U.C.	E.M.B.	1 : 1 500	0
	DIBUJO :	APROBO :	FECHA :	TRABAJO :
	M.I.C.	H.S.D.	ENE. 2010	093300



LEYENDA	
	CURVAS MAESTRAS TERRENO
	CURVAS SECUNDARIAS TERRENO
	CURVAS MAESTRAS BASAMENTO
	CURVAS SECUNDARIAS BASAMENTO
	CURVAS MAESTRAS NIVEL FREATICO
	CURVAS SECUNDARIAS NIVEL FREATICO
	ESTRUCTURAS
	TERRENO DE CULTIVO
	INGRESO DE GALERIA
	TROCHA DE ACCESO
	PERIMETRO DEL NIVEL FREATICO
	GALERIA PROYECTADA
	GALERIA EXISTENTE
	PIE DE BASAMENTO ROCOSO
	PERIMETRO DEL EMBALSE

NOTAS :
 1.- LA ESCALA GRAFICA MOSTRADA ES PARA EL FORMATO A-1, PARA A-3 CONSIDERAR EL DOBLE
 2.- USAR SOLO DIMENSIONES INDICADAS EN LOS PLANOS.



REV. N°	FECHA	DESCRIPCION	REVISO	APROBO
0	10/02/10	EMITIDO PARA CONSTRUCCION	E.M.B.	H.S.D.



PROYECTO: "Estudio Definitivo de las Obras de Estabilización Seleccionadas para El Derrumbe - 5"
 GEOTECNIA

TITULO: **DERRUMBE 5**
CURVAS - NIVEL FREATICO - BASAMENTO ROCOSO
 PLANO N°: CSL-093300-2-GE-008

CESEL INGENIEROS	ELABORO : R.M.G.	REVISO : E.M.B.	ESCALA : 1:1 500	REV. : 0
	DIBUJO : M.I.C	APROBO : H.S.D.	FECHA : FEB. 2 010	TRABAJO : 093300