



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
EXTENSIÓN MORONA SANTIAGO
FACULTAD DE RECURSOS NATURALES
ESCUELA DE AGRONOMÍA
CARRERA DE GEOLOGÍA Y MINAS

**ESTUDIO DE LAS CARACTERÍSTICAS GEOMECÁNICAS DEL
MACIZO ROCOSO EN LA CONSTRUCCIÓN DEL TÚNEL
PAPALLACTA DEL PROYECTO HIDROELÉCTRICO QUIJOS**

TRABAJO DE TITULACIÓN

**PRESENTADO COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL
TÍTULO DE INGENIERA EN GEOLOGÍA Y MINAS**

AUTORA
TIGRE FRIAS MARTHA TEOLINDA

MACAS – ECUADOR

2016

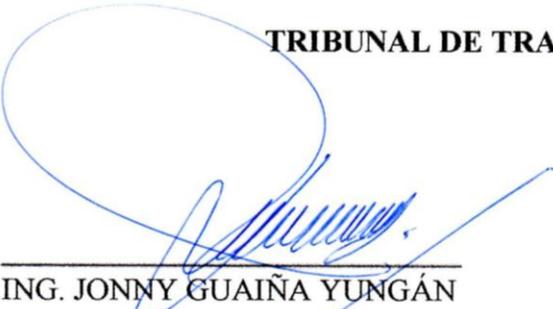
APROBACIÓN DEL TRIBUNAL

EL TRIBUNAL DEL TRABAJO DE TITULACIÓN CERTIFICA QUE: el trabajo de investigación titulado ESTUDIO DE LAS CARACTERISTICAS GEOMECHANICAS DEL MACIZO ROCOSO EN LA CONSTRUCCION DEL TUNEL PAPALLACTA DEL PROYECTO HIDROELECTRICO QUIJOS, De responsabilidad de la Srta. Egresada Martha Teolinda Tigre Frías, ha sido prolijamente revisada quedando autorizada su presentación.

En la ciudad de Macas, a los 07 días del mes de Enero del 2015

Para constancia de lo actuado firman:

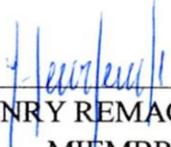
TRIBUNAL DE TRABAJO DE TITULACIÓN



ING. JONNY GUAÍÑA YUNGÁN
PRESIDENTE DEL TRIBUNAL



ING. EDGAR PINO LOZA
DIRECTOR



ING. HENRY REMACHE GARCÍA
MIEMBRO

DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD

Yo, Martha Teolinda Tigre Frías, declaro que el presente trabajo de titulación es de mi autoría y que los resultados del mismo son auténticos y originales. Los textos constantes y el documento que provienen de otra fuente están debidamente citados y referenciados.

Como autor, asumo la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este trabajo de titulación.

Macas, 07 de enero del 2016

Martha Teolinda Tigre Frías

C.C. 140077952-4

DEDICATORIA

El presente trabajo lo dedico a mis queridos padres, Segundo Tigre y María Frías por haberme brindado su comprensión, consejos, cuidados, apoyo y amor incondicional en todo momento de mi vida, por orientarme a tomar las mejores decisiones y ser los impulsores para lograr mis metas y objetivos.

A mis hermanos, Ángel y Mercy, familiares y amigos por la paciencia, cariño y apoyo para alcanzar este objetivo tan anhelado.

Martha Tigre

AGRADECIMIENTO

A Dios por darme sabiduría, salud y por todas las bendiciones recibidas día a día. A mi querida familia por el ser motor impulsor de mis metas y a todos quienes me impulsaron a lograr este objetivo y fueron parte de mi equipo de trabajo.

A la ESPOCH y su cuerpo administrativo, a los Docentes y compañeros de la Escuela de Geología y Minas, por su gran colaboración y apoyo brindado y en especial al tribunal conformado por el Ingenieros Edgar Pino y Henry Remache excelentes profesionales que con paciencia supieron guiarme de la mejor manera en el desarrollo y culminación de este trabajo.

A CNEEC CO.LTDA., empresa constructora del Proyecto Hidroeléctrico Quijos y al Ing. Carlos García Vargas Jefe del departamento de geología por haber impartido sus conocimientos, tiempo y colaboración para la realización del presente trabajo.

A CELEC EP – COCA CODO SINCLAIR Contratante del Proyecto Hidroeléctrico Quijos por permitir la realización de mi trabajo de Titulación en esta importante obra.

Martha Tigre

ABREVIATURAS Y SIGLAS

AIME:	Asociación de Ingenieros de Minas del Ecuador
ASTEC:	Asesoría Técnica Cía. Ltda.
DS:	Depósitos superficiales
DE:	Dimensión Equivalente
EEQ:	Empresa Eléctrica Quito S.A.
ESR:	Radio de Soporte de Excavación
EIAD:	Estudio de Impacto Ambiental Definitivo
FSA:	Falla Subandina
FC:	Falla Cosanga
FCA:	Frente de Cabalgamientos Andinos
FL:	Falla Llanganates
JRC:	Coefficiente de rugosidad
INEMIN-BGS:	Instituto de Investigación Minera - British Geological Survey (1990)
ISRM:	Sociedad Internacional de Mecánica de Rocas
MPa:	Mega Pascales
Km:	Kilometro
m:	Metro lineal
msnm:	Metros sobre el nivel del mar
MW:	Mega Watts
PHQ:	Proyecto Hidroeléctrico Quijos
RQD:	Índice de Calidad de la Roca
SRF:	Factor de Reducción de Esfuerzos
ZS:	Zona Subandina

TABLA DE CONTENIDO

LISTA DE CUADROS	i
LISTA DE GRÁFICOS	ii
LISTA DE FOTOGRAFÍAS	iii
LISTA DE ANEXOS	iv

CAPÍTULO	PAG.
-----------------	-------------

<u>I. ESTUDIO DE LAS CARACTERÍSTICAS GEOMECÁNICAS DEL MACIZO ROCOSO EN LA CONSTRUCCIÓN DEL TÚNEL PAPALLACTA DEL PROYECTO HIDROELECTRICO QUIJOS</u>	1
<u>II. INTRODUCCIÓN</u>	1
A. JUSTIFICACIÓN	4
B. OBJETIVOS	4
1. OBJETIVO GENERAL.....	4
2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	4
C. HIPÓTESIS	5
<u>III. REVISIÓN DE LITERATURA</u>	6
A. GEOLOGÍA REGIONAL	6
B. GEOLOGÍA LOCAL	8
1. DEPÓSITOS SUPERFICIALES (DS), CUATERNARIOS/Holocénicos.....	8
a. Terrazas y Terrazas Aluviales	8
b. Depósitos coluviales.....	9
c. Lahares.....	9
d. Depósito Glacial y Fluvioglacial.....	10
e. Depósitos Lacustres.....	10

2.	VOLCÁNICOS INDIFERENCIADOS (VI).....	10
3.	ESQUISTOS PELÍTICOS Y GRAFÍTICOS, PARAGNEIS, UNIDAD CUYUJA (JY).....	11
4.	ESQUISTOS, METALAVAS Y METAGRAUVACAS, UNIDAD UPANO (JU).....	12
C.	VULCANISMO.....	14
D.	GEOMORFOLOGÍA.....	15
1.	TERRENOS ALTO VOLCÁNICOS.....	15
2.	TERRENOS METAMÓRFICOS.....	16
3.	LADERAS COLUVIONADAS.....	16
4.	TERRAZAS Y DEPÓSITOS COLUVIALES Y ALUVIALES.....	16
a.	Morfología.....	16
E.	TECTÓNICA Y GEOLOGÍA ESTRUCTURAL.....	17
F.	HIDROGEOLOGÍA.....	18
G.	AMENAZAS POTENCIALES DEL PROYECTO HIDROELÉCTRICO QUIJOS.....	19
1.	VOLCÁNICAS.....	19
2.	SÍSMICAS.....	19
3.	MOVIMIENTO EN MASA.....	21
4.	ANTRÓPICAS/TECNOLÓGICAS.....	22
IV.	<u>MATERIALES Y MÉTODOS.....</u>	<u>23</u>
A.	CARACTERÍSTICAS DEL LUGAR.....	23
1.	UBICACIÓN.....	26
2.	ACCESO.....	26
3.	CONDICIONES METEOROLÓGICAS.....	27
a.	Temperatura.....	27
b.	Precipitación.....	27
c.	Humedad.....	28
4.	CARACTERÍSTICAS DEL SUELO.....	28
a.	Vegetación.....	28
1).	Tipos de Vegetación.....	29
a)	Bosque Secundario.....	30
b)	Pastizales.....	30
b.	Uso del suelo.....	30
5.	FLORA.....	31
6.	FAUNA.....	32
a.	Mamíferos.....	32
b.	Aves.....	32
c.	Anfibios y reptiles.....	33
7.	CARACTERÍSTICAS SOCIO-ECONÓMICAS.....	33

B. CARACTERÍSTICAS Y COMPORTAMIENTO GEOMECANICO DEL MACIZO ROCOSO	33
1. INTRODUCCIÓN.....	33
a. Mecánica de suelos.....	33
b. Mecánica de rocas	34
2. LA ROCA Y SU CLASIFICACIÓN.....	34
a. Clasificación por el origen o génesis.....	36
1). Rocas ígneas (o magmáticas).....	36
2). Rocas sedimentarias	36
3). Rocas metamórficas	36
b. Clasificación geológica o litológica	37
c. Clasificación ingenieril.....	37
3. CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DE LA MASA ROCOSA	38
a. Discontinuidades	38
1). Fracturas.....	38
2). Diaclasas.....	38
3). Fallas	39
a) Falla normal.....	39
b) Falla inversa	40
c) Falla de desgarre.....	40
4). Fisuras	40
5). Estratificación.....	41
6). Foliación o esquistosidad	41
7). Zonas de cizalla.....	41
8). Contacto litológico	42
9). Vetillas	42
b. Pliegues	42
c. Dominio estructural y estructura del macizo rocoso	42
C. PROPIEDADES DE LAS DISCONTINUIDADES.....	42
1. ORIENTACIÓN.....	43
2. ESPACIADO.....	44
3. PERSISTENCIA.....	44
4. RUGOSIDAD.....	45
5. APERTURA.....	46
6. RELLENO	47
7. EL FLUJO DE AGUA.....	48
8. RESISTENCIA DE LA PARED DE LA DISCONTINUIDAD.....	48
D. CARACTERIZACIÓN Y DESCRIPCIÓN DE AFLORAMIENTOS	50
1. GRADO DE METEORIZACIÓN	50
2. ALTERACIÓN	51
E. ANALISIS GEOMECÁNICO DEL MACIZO ROCOSO.....	51

1. ANÁLISIS DE TENSIONES	51
2. DEFORMACIÓN Y RELACIONES TENSO-DEFORMACIONALES	52
3. ESTADO DE TENSIÓN DE LOS MACIZOS ROCOSOS	53
a. Tensiones naturales e inducidas	54
4. RESISTENCIA DE LOS MACIZOS ROCOSOS	54
a. Modos de rotura de la roca	54
5. ENSAYOS DE LABORATORIO	55
F. INTRODUCCIÓN A LA CLASIFICACIÓN GEOMECÁNICA	58
1. CLASIFICACIÓN GEOMECÁNICA DE LOS MACIZOS ROCOSOS.....	58
G. MÉTODOS DE CLASIFICACIÓN DE MACIZOS ROCOSOS.....	59
1. MÉTODOS CUALITATIVOS.....	59
a. Clasificación de Terzagui (1946)	59
b. Clasificación de Lauffer (1958)	60
2. MÉTODOS CUALI/CUANTITATIVOS.....	61
a. Clasificación Deere (1945).....	61
b. Clasificación de Hoek y Brown (GSI)	62
c. Clasificación geomecánica de Romana Slope Mass Rating (SMR).....	64
d. Clasificación Geomecánica Rock Mass Rating (RMR).....	64
e. Sistema Indice "Q"	64
H. MÉTODOS UTILIZADOS EN LA CLASIFICACIÓN DEL MACIZO ROCOSO EN TÚNEL PAPALLACTA.....	65
1. CLASIFICACIÓN GEOMECÁNICA RMR.....	65
a. Resistencia a la comprensión simple de la matriz rocosa.....	65
b. R.Q.D. Grado de fracturación del macizo rocoso.	66
c. Espaciamiento o separación de las discontinuidades.....	66
d. Condiciones de las discontinuidades.....	67
e. La presencia de agua en el macizo rocoso.	68
f. Orientación de las discontinuidades.....	68
2. SISTEMA Q	71
a. El grado de diaclasamiento (tamaño de los bloques).	72
b. Fricción de las diaclasas.....	72
c. Esfuerzo.....	72
1). RQD (Designación de Calidad de Roca).....	73
2). Jn (Número de familias de juntas).....	74
3). Jr (Índice de rugosidad de las juntas)	75
4). Ja (Índice de alteración de juntas)	76
5). Jw (Factor de reducción por presencia de agua en las juntas)	77
6). SFR (Factor de Reducción de Esfuerzos)	78
I. ANÁLISIS ESTRUCTURAL CON PROGRAMAS INFORMATICOS	83
1. PROGRAMA DIPS	84
2. PROGRAMA UNWEDGE.....	85

J. SECUENCIA DEL LEVANTAMIENTO GEOLOGICO-GEOTECNICO EN EL CAMPO	86
1. INTRODUCCIÓN.....	86
2. SECUENCIA EN EL MAPEO DE TÚNELES	86
K. MATERIALES	90
1. MATERIALES DE OFICINA.....	90
2. MATERIALES DE CAMPO	90
V. <u>ANALISIS DE LOS RESULTADOS</u>	<u>91</u>
A. CARACTERÍSTICAS DEL TÚNEL	91
1. LITOLOGÍA DEL TÚNEL	92
a. Depósito aluvial (Cuaternario)	92
b. Lavas basálticas (Cuaternario)	92
c. Depósito de Paleo-ladera (Cuaternario).....	94
d. Depósito de arcilla-limo-arena (Paleocauce)	95
e. Escoria volcánica (Cuaternario)	98
f. Esquistos cuarzo sericíticos y cloríticos (Roca metamórfica-Jurásico)	100
2. CLASIFICACIÓN GEOLÓGICA-GEOTÉCNICA	104
3. TIPO DE SOSTENIMIENTO	120
a. Sostenimiento para calidad tipo I	120
b. Sostenimiento para calidad tipo II.....	121
c. Sostenimiento para calidad tipo III.....	122
d. Sostenimiento para calidad tipo IV	123
e. Sostenimiento para calidad tipo Va (En Roca)	124
f. Sostenimiento para calidad tipo Vb (En material suelto).....	125
VI. <u>CONCLUSIONES</u>.....	<u>128</u>
VII. <u>RECOMENDACIONES</u>	<u>130</u>
VIII. <u>ABSTRACTO</u>.....	<u>132</u>
IX. <u>ABSTRACT</u>.....	<u>133</u>
X. <u>BIBLIOGRAFÍA</u>.....	<u>134</u>
XI. <u>ANEXO</u>	<u>136</u>

LISTA DE CUADROS

N°	DESCRIPCIÓN	PÁG.
	Cuadro 1: Puntos de referencia de Túnel Papallacta	24
	Cuadro 2: Coordenadas Geográficas del Proyecto Hidroeléctrico Quijos	26
	Cuadro 3: Lluvias anuales en los sitios de obra (mm/año)	28
	Cuadro 4: Minerales más comunes encontrados en las rocas	35
	Cuadro 5: Clasificación ingenieril de la roca intacta	37
	Cuadro 6: Prueba de Índices manuales	49
	Cuadro 7: Resumen de las propiedades de las discontinuidades	49
	Cuadro 8: Ensayo de Compresión Simple en Esquistos	56
	Cuadro 9: Ensayo de Compresión Simple en Lavas	56
	Cuadro 10: Estimaciones de campo de la resistencia a la compresión uniaxial	57
	Cuadro 11: Resistencia de la roca	65
	Cuadro 12: RQD	66
	Cuadro 13: Espaciado entre las discontinuidades	66
	Cuadro 14: Condición de las discontinuidades	67
	Cuadro 15: Presencia de agua subterránea	68
	Cuadro 16: Orientación de las discontinuidades	68
	Cuadro 17: Clases de macizos	69
	Cuadro 18: Soporte recomendado por Bieniawski	69
	Cuadro 19: Clasificación Geológica-Geotécnica con los parámetros de Bieniawski	70
	Cuadro 20: Valoración de la roca de acuerdo con el Índice de Calidad Q	73
	Cuadro 21: Designación de la calidad de roca	73
	Cuadro 22: Número de familias de discontinuidades	74

Cuadro 23: Rugosidad de las juntas.....	75
Cuadro 24: Alteración de las juntas.....	76
Cuadro 25: Factor de reducción debido a la presencia de agua.....	77
Cuadro 26: Factor de reducción de Tensiones.....	80
Cuadro 27: Clasificación Geológica-Geotécnica con los parámetros de Barton.....	81
Cuadro 28: Factor de Seguridad-Radio de Soporte de Excavación (ESR).....	82
Cuadro 29: Longitud excavada y por excavar de acuerdo a la Calidad del Macizo.....	101
Cuadro 30: Clasificación de Calidad Tipo I.....	104
Cuadro 31: Clasificación de Calidad Tipo II.....	104
Cuadro 32: Clasificación de Calidad Tipo III.....	105
Cuadro 33: Clasificación de Calidad Tipo IV.....	106
Cuadro 34: Clasificación Calidad Tipo V.....	106

LISTA DE GRÁFICOS

N°	DESCRIPCIÓN	PÁG.
	Gráfico 1: Geodinámica del arco ecuatoriano	6
	Gráfico 2: Geología del Proyecto	13
	Gráfico 3: Geomorfología.....	15
	Gráfico 4: Mapa Hidrológico.....	18
	Gráfico 5: Mapa de Fallas y Pliegues Cuaternarios del Ecuador	20
	Gráfico 6: Zonas Sísmicas del Ecuador	21
	Gráfico 7: Implantación del Proyecto Hidroeléctrico Quijos	23
	Gráfico 8: Puntos de referencia de Túnel Papallacta.....	24
	Gráfico 9: Trazado de túnel Papallacta - Perfil y Planta.....	25
	Gráfico 10: Ubicación General del Proyecto.....	27
	Gráfico 11: Elementos de una falla.....	39
	Gráfico 12: Escala descriptiva y perfil del coeficiente de rugosidad (JRC).....	45
	Gráfico 13: Deformación de las rocas	53
	Gráfico 14: Esquema para la clasificación de Terzaghi.....	60
	Gráfico 15: Relación entre luz libre y tiempo de estabilidad	61
	Gráfico 16: Representación del RQD	62
	Gráfico 17: Índice Geológico de Resistencia (G.S.I) propuesto por Hoek.....	63
	Gráfico 18: Abaco de Barton.....	83
	Gráfico 19: Análisis de estructuras en el programa Dips	84
	Gráfico 20: Análisis estructural de cuñas con el programa Unwedge	85
	Gráfico 21: Formato para el mapeo en campo con los parámetros de Barton.....	88
	Gráfico 22: Excavación realizada en Túnel Papallacta	91

Gráfico 23: Panorámica del paleocauce río Papallacta relleno por flujo de lava.....	96
Gráfico 24: Modelo geológico conceptual - Situación ante volcánica	96
Gráfico 25: Perfil Geológico – Geotécnico del trazado del Túnel Papallacta	102
Gráfico 26: Sondeos realizados en el área de estudio.....	103
Gráfico 27: Planos Finales de Excavación abscisas desde 0+000,00 hasta 0+900 y desde 2+250 hasta 2+894,27	107
Gráfico 28: Porcentaje de la clase de roca según la clasificación geomecánica.....	119
Gráfico 29: Litologías de túnel Papallacta.....	119
Gráfico 30: Diseño de sostenimiento para calidad tipo I.....	121
Gráfico 31: Diseño de sostenimiento para calidad tipo II	122
Gráfico 32: Diseño de sostenimiento para roca tipo III.....	122
Gráfico 33: Diseño de sostenimiento para calidad tipo IV	123
Gráfico 34: Diseño de sostenimiento para calidad tipo Va	125
Gráfico 35: Diseño de sostenimiento para calidad tipo Vb	126
Gráfico 36: Diseño de sostenimiento para calidad tipo Va (Especial)	127

LISTA DE FOTOGRAFÍAS

N°	DESCRIPCIÓN	PÁG.
	Fotografía 1: Medición de la dirección de buzamiento	43
	Fotografía 2: Espaciado entre discontinuidades	44
	Fotografía 3: Persistencia.....	45
	Fotografía 4: Rugosidad en las caras de las discontinuidades	46
	Fotografía 5: Apertura entre las caras de las discontinuidades.....	47
	Fotografía 6: Tipo de relleno y su espesor.....	47
	Fotografía 7: Filtración de agua.....	48
	Fotografía 8: Muestras de laboratorio.....	55
	Fotografía 9: Lavas basálticas columnares, (Calidad Tipo II).....	93
	Fotografía 10: Lavas basálticas, (Calidad Tipo IV).....	93
	Fotografía 11: Contacto entre el depósito de ladera y lavas (Calidad Tipo V)	94
	Fotografía 12: Depósito de paleo-ladera (Calidad Tipo V)	95
	Fotografía 13: Contacto litológico entre lavas y el paleocause (Calidad Tipo V).....	97
	Fotografía 14: Depósito de arcilla, limo y arena (Calidad Tipo V)	98
	Fotografía 15: Contacto litológico entre escoria volcánica y esquistos (Calidad Tipo V) ...	99
	Fotografía 16: Depósito de escoria volcánica (Calidad Tipo V)	99
	Fotografía 17: Esquistos cuarzo sericíticos (Calidad tipo II)	100
	Fotografía 18: Esquistos (Calidad Tipo III).....	101

LISTA DE ANEXOS

Nº	DESCRIPCIÓN	PÁG.
	ANEXO 1: Glosario de términos.....	136
	ANEXO 2: Sondeo XTP 10.....	142

I. ESTUDIO DE LAS CARACTERÍSTICAS GEOMECÁNICAS DEL MACIZO ROCOSO EN LA CONSTRUCCIÓN DEL TÚNEL PAPALLACTA DEL PROYECTO HIDROELECTRICO QUIJOS

II. INTRODUCCIÓN

La matriz productiva ha sido uno de los principales limitantes para que el Ecuador alcance una sociedad del Buen Vivir, que en su “Objetivo 10” referente al cambio de matriz productiva y “Objetivo 11” que asegura la soberanía y eficiencia de los sectores estratégicos, como la generación de energía eléctrica limpia. En este contexto uno de los retos más ambiciosos del país, es superar el actual modelo de generación de riquezas: concentrador, excluyente y basado en recursos naturales renovables y no renovables, por un modelo democrático, incluyente y fundamentado en el conocimiento y las capacidades de los ecuatorianos.

Por lo tanto, uno de los objetivos prioritarios del presente Gobierno Nacional es la agregación de valor en la producción existente mediante la incorporación de tecnología y conocimiento en los actuales procesos productivos de biotecnología, servicios ambientales, energías renovables y no renovables.

En este contexto, la Empresa Eléctrica Quito S.A. en su afán de solucionar el déficit de energía en su área de influencia, ha previsto la construcción y operación del Proyecto Hidroeléctrico Quijos (50 MW) quien adjudicó en junio del 2002, la elaboración de “Los estudios y diseños para los Proyectos Hidroeléctricos Quijos”, a las compañías ASTEC-INTEGRAL, trabajos que fueron culminados en junio del 2003.

El PROYECTO HIDROELÉCTRICO QUIJOS (PHQ) es una de las centrales hidroeléctricas que están en proceso de construcción y utilizará recursos renovables que contribuirá en la producción de energía limpia para superar el déficit energético del país en el menor tiempo posible. Este proyecto tiene como propósito la producción de 50 MW, mediante la captación de las aguas de los ríos Papallacta-Victoria y Quijos. La central hidroeléctrica estará integrada por obras civiles como: captación del agua de los ríos,

conducciones, tubería de presión, casa de máquinas y subestación eléctrica. Además contarán con obras civiles complementarias tales como: vías de acceso, campamentos, talleres y escombreras.

La Contratante de esta obra es de la Empresa Pública CELEC EP. ENERNORTE.; el diseño de la licitación y actividades de fiscalización están a cargo de la Asociación ASTEC-INTEGRAL; y la construcción por la Empresa CNEEC. CO. LTDA., de China.

En el presente trabajo se describen los parámetros geomecánicos de la zona en la que se encuentra el proyecto, la litología y las principales características geológicas-geotécnicas del macizo rocoso que se encuentren durante la excavación en el trazado del túnel Papallacta, utilizando los diferentes métodos de evaluación. La clasificación geomecánica nos permite determinar la calidad de la roca y colocar el soporte adecuado para garantizar la estabilidad y su vida útil del túnel de conducción durante la etapa de operación, siendo de gran importancia para el proyecto.

El estudio geomecánico realizado se compone de 11 Capítulos que se detallan a continuación:

El Capítulo I, comprende el título del trabajo de investigación.

El Capítulo II, incluye los objetivos, la justificación y la hipótesis.

El Capítulo III, contiene la revisión de literatura la investigación del marco teórico, que servirá de base para la realización del trabajo y se compone de: geología regional, geología local, vulcanismo, geomorfología, tectónica y geología estructural, hidrogeología y las amenazas potenciales para el proyecto. Con lo cual se obtiene el modelo geológico para el área de estudio determinando sus probables características.

El Capítulo VI, describe las características del lugar, condiciones meteorológicas, características de suelo, y las características socioeconómicas del área. También describe las características y el comportamiento geomecánico del macizo rocoso. Los métodos de clasificación geomecánica como el RMR (Rock Mass Rating) de Bieniawski y el sistema del Índice Q de Barton, Lien y Lunde utilizados para la clasificación del macizo rocoso de

Túnel Papallacta, programas informáticos para el análisis de estructuras, secuencia del levantamiento geológico- geotécnico en el campo y materiales utilizados.

El Capítulo V, analiza los resultados obtenidos de las clasificaciones geomecánicas y los tipos de sostenimiento a colocarse dependiendo de la calidad de roca.

El Capítulo VI, registra las conclusiones obtenidas en base al estudio geomecánico realizado.

En Capítulo VII, contiene las recomendaciones que se debe realizar en la construcción del túnel con las diferentes litologías encontradas a lo largo de su trazado.

En los Capítulos VIII, IX-X-XI, se encuentra el Abstracto, Abstract, Referencias Bibliográficas y los Anexos respectivamente.

El Proyecto Hidroeléctrico Quijos con una potencia de 50 MW, es uno de los proyectos energéticos emblemáticos impulsados por el Gobierno Nacional. El propósito es eliminar el déficit energético en el menor plazo posible aprovechando los recursos hídricos existentes y convertir al Ecuador en un país generador de energía limpia para consumo interno e incluso llegar a exportar a los países vecinos.

A. JUSTIFICACIÓN

La zona de estudio se caracteriza por tener geología compleja, donde se ha identificado una franja de contacto entre el basamento metamórfico y la formación volcánica supra-yacente, zona en la cual está implantado el trazado de túnel Papallacta. Al excavar el túnel se altera el estado natural del macizo rocoso provocando la pérdida de resistencia, estabilidad natural y posteriormente problemas en el sostenimiento. Además se debe considerar el dominio estructural de las discontinuidades, la resistencia, condiciones hidro-geológicas y el grado de afectación en el área excavada. Por lo que es necesario analizar y evaluar rigurosamente las características geológicas-geotécnicas del macizo rocoso y obtener su clasificación.

Los valores obtenidos de la clasificación nos indican las condiciones de estabilidad del macizo y el sostenimiento que se debe aplicar recomendado por el diseño con el fin de garantizar la construcción del túnel otorgado seguridad al personal y equipos que están en su interior, así como también en su vida útil durante la fase de operación.

B. OBJETIVOS

1. Objetivo general

Determinar las características geomecánicas significativas en la sección de excavación del Túnel Papallacta para instalar el sostenimiento adecuado y garantizar la estabilidad del túnel.

2. Objetivos específicos

- Seleccionar la teoría y el procedimiento de clasificación geomecánica, con base a lo recomendado en las especificaciones técnicas contractuales, el método de excavación y la litología de la zona de estudio.

- Evaluar y describir las características geológicas-geotécnicas del macizo rocoso después de cada avance.
- Tomar muestras de zonas con cambio de litología y las que sean más representativas para nuestro estudio.
- Determinar las características geológicas y geomecánicas mediante el análisis de los resultados de los ensayos de laboratorio.

C. HIPÓTESIS

El estudio de los diferentes tipos de rocas y suelos, las propiedades mecánicas, el análisis de las estructuras, los parámetros de deformación y la resistencia que comprende el macizo rocoso en el trazado de Túnel Papallacta nos permiten definir el comportamiento del macizo frente a procesos externos de desestabilización por efecto en la construcción de la obra. Los métodos de clasificación a emplearse identifican y evalúan las características geo-mecánicas determinando la calidad del macizo rocoso.

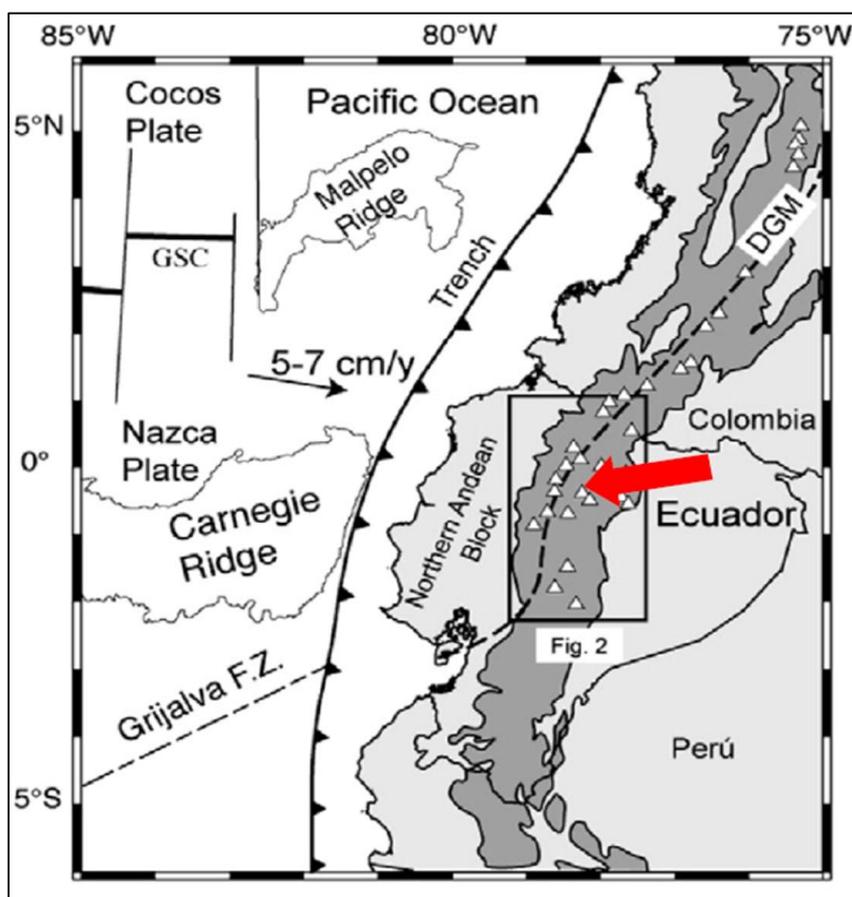
Con los resultados de la evaluación se procederá a colocar el sostenimiento adecuado que garantice la estabilidad del túnel y estimar consideraciones en las medidas de seguridad durante su construcción y operación.

III. REVISIÓN DE LITERATURA

A. GEOLOGÍA REGIONAL

El Proyecto Hidroeléctrico Quijos se ubica a nivel regional en correspondencia de la Cordillera Real de Ecuador que, como la Cordillera Occidental, se ha establecido por la subducción de la Placa de Nazca, debajo de la Placa continental Sudamericana. Este fenómeno comenzó alrededor de 2-9 millones de años (Gutscher et al., 1999; Witt et al., 2006), cuando la Placa de Nazca y el Carnegie Ridge empezaron movimientos hacia el Este con una convergencia de 8-9 cm por año con el continente sudamericano (Pilger, 1984; Kellogg y Vega, 1995) y fue el responsable del vulcanismo Cuaternario en el país.

Gráfico 1: Geodinámica del arco ecuatoriano



Fuente: Hall et. Ali, (2008)

De acuerdo al INEMIN-BGS (1990), el área en el que se encuentra el Proyecto Hidroeléctrico Quijos corresponde a la faja central -oriental que se halla limitada entre las fallas: subandina (FSA) al oeste y la de Cosanga (FC) al este.

En esta faja se halla el terreno Salado donde se ubican la unidad Cuyuja y Upano caracterizadas por la presencia de paquetes de rocas metamórficas, esquistos verdes con presencia de grafito y carbonatos, y esquistos semipelíticos con presencia de grafito, carbonato. Paquetes que se presentan con deformación, plegamiento y dislocación; fallas inversas-dextrales (NNE/SSW) de alto y medio ángulo producto de esfuerzos compresivos principalmente.

Los productos emitidos por el volcán activo Antisana ocupan zonas “altas” como los flujos de lodo cuaternarios (terraza de Huila-La Esperanza) los cuales fueron levantados durante el plioceno. Esta elevación influye directa e indirectamente en el área y es la principal elevación.

El borde occidental del Levantamiento Napo (frente subandino) se encuentra deformado por fallas de rumbo que limita el batolito de Abitagua de la parte este del sistema subandino donde se localizan los volcanes activos Reventador, Pan de Azúcar y Sumaco.

La conformación actual de la Cordillera Real tiene una relación directa con la actividad geotectónica que ha afectado a toda la zona de la cordillera, el área de este proyecto ocupa una pequeña zona ubicada hacia el centro y oriente de la Cordillera Real. Tiene un basamento compuesto de acreciones ocurridas a partir del Paleozoico hasta el Paleoceno, potentes paquetes volcánicos han sido extruidos y derramados desde varios centros de emisión y por fisuras, estas rocas se encuentran cubriendo el cinturón metamórfico que según (Aspden y Litherland; 1992 y Litherland et al, 1994) está conformado por las Divisiones Guamote, Alao, Loja, Salado y Zamora, dispuestas de Oeste a Este.

En la parte Occidental desde Papallacta hacia el Este existen predominantemente rocas metamórficas pertenecientes a las Divisiones Loja con las Unidades Tres Lagunas que consta de un granito gnéisico en el que destacan cristales bien desarrollados de cuarzo azul, dentro de esa misma división y en contacto de falla con el anterior, afloran materiales de la

unidad Chiguinda representada por semipelitas dentro de la cuales están cuarcitas y filitas negras.

Hacia el Oriente, a la altura de Cuyuja afloran rocas de la Unidad Cuyuja como parte de la División Salado con la presencia de esquistos y gneises pelíticos (grafíticos), y más hacia el Este, afloran rocas de la Unidad Upano correspondientes a esta misma División que se encuentra afectada por la Falla Subandina, estas rocas están representadas por esquistos verdes, esquistos pelíticos y gneis de hornblenda y biotita hasta cerca de Baeza. Y, hacia el Oriente de Baeza afloran areniscas, calizas y lutitas negras semi-metamórficas de las formaciones Cretácicas Tena y Napo (Grupo Margajitas) (Bristow, 1975).

Los ríos principales son el Quijos y Papallacta que trasladan sus aguas hacia al Sur-Este y desemboca en el río Coca.

La topografía de la región es muy accidentada debido a la acción de tres factores morfogénicos principales: el levantamiento del basamento cristalino más antiguo, la actividad volcánica cuaternaria y el fuerte poder erosivo de los cursos de agua.

B. GEOLOGÍA LOCAL

1. Depósitos superficiales (ds), cuaternarios/holocénicos

a. Terrazas y Terrazas Aluviales

Se hallan distribuidos en forma dispersa a lo largo de los drenajes principales y menores como del río Papallacta y Quijos, como de sus tributarios ríos Victoria, Laurel. Jatunquinajua y Huagrayacu. Los depósitos más conspicuos se localizan en la unión de los ríos Papallacta-Quijos, donde se implantará la casa de máquinas.

Estos depósitos se hallan conformados por materiales como gravas, arenas, limos y arcillas. Los componentes en las terrazas son materiales de origen volcánico y metamórfico en su mayoría de diferente granulometría y forma, los cuales se hallan depositados en forma de lentes producto de las crecidas sobre la llanura de “inundación” de las tierras bajas. Su

espesor es muy variable en sitios puede alcanzar hasta 45 metros, observándose tres niveles de terrazas (escalonados) con un nivel de altura de alrededor de 5 a 10 metros respecto al río Quijos margen derecha aguas arriba.

Las terrazas aluviales se localizan a lo largo del río Papallacta y Quijos, en los sectores donde el río forma zonas meándricas y/o en medio del río formando depósitos aluviales (islas); es característico observar sitios de erosión lateral del río que socavan las paredes laterales.

b. Depósitos coluviales

Localizados a lo largo de los ríos Papallacta y Quijos. Son rasgos (zonas de escarpes, acumulación de materiales en zonas inestables pendientes desfavorables y zona de recepción) característicos observados en fotografías aéreas. Los depósitos en la zona de recepción están compuestos por bloques de diferente tamaño, angulares a subangulares envuelta en una matriz de grano medio a grueso de limo-arenosa a arenosa.

También, se ha observado depósitos de materiales acarreados por las corrientes (depósitos a la salida de la unión de los ríos Papallacta-Quijos). Estos depósitos fluviales forman abanicos y/o conos de deyección, clasificándose en forma grosera-caótica.

En estos depósitos juegan papel preponderante los factores y condiciones geológicas imperantes en el área del proyecto como formas del terreno (mesetas, terrazas, canales, etc.), estructuras (fallas, grietas, pliegues, deformación, etc.) o materiales de la tierra (suelos, flujos de lodo, lavas, ceniza, etc.).

c. Lahares

Se localizan a lo largo de la ribera del río Papallacta. Constituye masas heterogéneas de fragmentos de rocas de todo tamaño (bloques de hasta 3.0 m. de diámetro, con formas angulares y subangulares) saturados de agua que fluye a lo largo de las pendientes o canales ayudados por la gravedad y energía potencial generada al deslizarse desde las zonas altas de los volcanes.

En el área de influencia directa, estos flujos de lodo (lahares históricos) semi-compactos son de color gris pardusco con una matriz de grano medio a grueso provenientes del volcán activo Antisana se los reporta de las perforaciones realizadas en la “meseta” del Huila ubicada a 2591 msnm, y en forma aislada en los ríos Papallacta y Quijos.

d. Depósito Glacial y Fluvioglacial

Se localizan en el área de la terraza Huila (2591 msnm) formando la parte superior de la terraza, conformadas por materiales de diferente origen cuyos bloques alcanzan hasta 2.2 m de diámetro, dispuesto en forma grosera, subredondeadas a angulosas, en una matriz semi-compacta con materiales de gruesos a medianos (gravas a arenas gruesas).

Depósitos fluvioglaciales se localizan en la divisoria de aguas, se depositaron sobre los materiales volcánicos lávicos diaclasados y productos en mantos piroclásticos de la Formación Pisayambo y Volcánicos del Antisana.

e. Depósitos Lacustres

Se menciona la presencia de un afloramiento de alrededor de 30 metros de espesor, que subyace a los depósitos glaciales morrénicos en la terraza de Huila (2400 msnm) en el camino de acceso a la hacienda Huila. (EEQSA, 2001).

2. Volcánicos Indiferenciados (VI) f. Pisayambo y Antisana, Cuaternario / Holocénico

Estos productos volcánicos conformados por dos secuencias: la primera conformada por lavas indiferenciadas andesíticas basálticas leucocráticas (macroscópicamente) y la segunda por productos piroclásticos masivos dispuestos en mantos de diferente espesor, de edad pleistocénica, asignados a la Formación Pisayambo (Kennerley, 1971). De acuerdo con (Bristow, et al., 1997), se asume que la Formación Pisayambo formó una plataforma sobre la cual emergieron y “crecieron” los edificios volcánicos modernos.

En el área del Proyecto PHQ, al sur y sur este, estas rocas pliocénicas se hallan sobre las rocas más antiguas pre-cretácicas (metamórficas). Los productos volcánicos emitidos por el volcán activo Antisana son materiales que pueden ser clasificados como proximales y/o distales. Los primeros se circunscriben a los alrededores del edificio volcánico conformados por lavas de color gris oscuro a negro, escoriáceas, profiríticas, fractura concoidal, ceniza, productos piroclásticos y flujos de lava como el de Papallacta conocido como Potrerillos, cerca de la laguna del mismo nombre con un recorrido aproximado de 20 km; la terraza de Huila ubicada al noreste del edificio volcánico Antisana se halla compuesto por materiales emitidos por el volcán los cuales avanzan hasta la población de Baeza.

Desde la población de Cuyuja se observan los productos del volcán Antisana compuesto por flujos columnares de lavas recubiertos por material de color crema-beige (concreciones calcáreas), presentándose como paredes verticales que emergen desde la base del río Papallacta. La composición litológica corresponde a rocas dacíticas con presencia de los siguientes minerales: olivino, augita, plagioclasas, hiperstena y cuarzo.

3. Esquistos pelíticos y grafíticos, paragneis, unidad Cuyuja (jv), Jurásico

Esta unidad fue subdividida en dos formaciones Cuyuja y Baeza por (Trouw, 1976). En la formación Cuyuja se describe una esquistosidad plana entre la vía Papallacta-Baeza. Los estudios de la Cordillera Real (Litherland, et al., 1992) relacionan a esta unidad al complejo de nappe en esta porción de la Cordillera Real (faja central-norte).

Se destaca que el complejo de nappe Cuyuja cruza por alrededor de 15 km a través del “frente de empuje” de la cordillera donde muestra rocas metamórficas con ángulos de buzamientos fuertes (cuasi verticales).

De acuerdo a (Trouw, 1976), el metamorfismo de los esquistos se los clasifica como una subfacie de las facies de las series Barrovianas de esquistos verdes.

Entre Papallacta y Cuyuja (7 km al Este), las rocas pertenecen a las subfacies: cuarzo-albita-epidota-almandino y al Oeste de Baeza corresponden a la subfacie cuarzo-albita-

epidota-biotita. Además, se menciona que el granate (almandino) y la biotita (mica negra/café) se han alterado a clorita (cloritización) indicando un ligero metamorfismo retrogrado y la presencia de “escamas” provenientes del zócalo o basamento antiguo incorporada a la serie (sillimanita en pizarras/pegmatitas).

La edad de la unidad Cuyuja está asignada a la Era Mesozoico Periodo Jurásico; relacionándole al complejo de nappe de Cuyuja con la colisión Peltetec (sutura) en el límite de la Era Mesozoica Periodo Jurásico/Cretácico. En el PHQ, la unidad se extiende desde la zona de captación del agua hacia las tomas, ubicado en los ríos Papallacta y Quijos hasta el cierre de las obras en la “Unión” de los mismos.

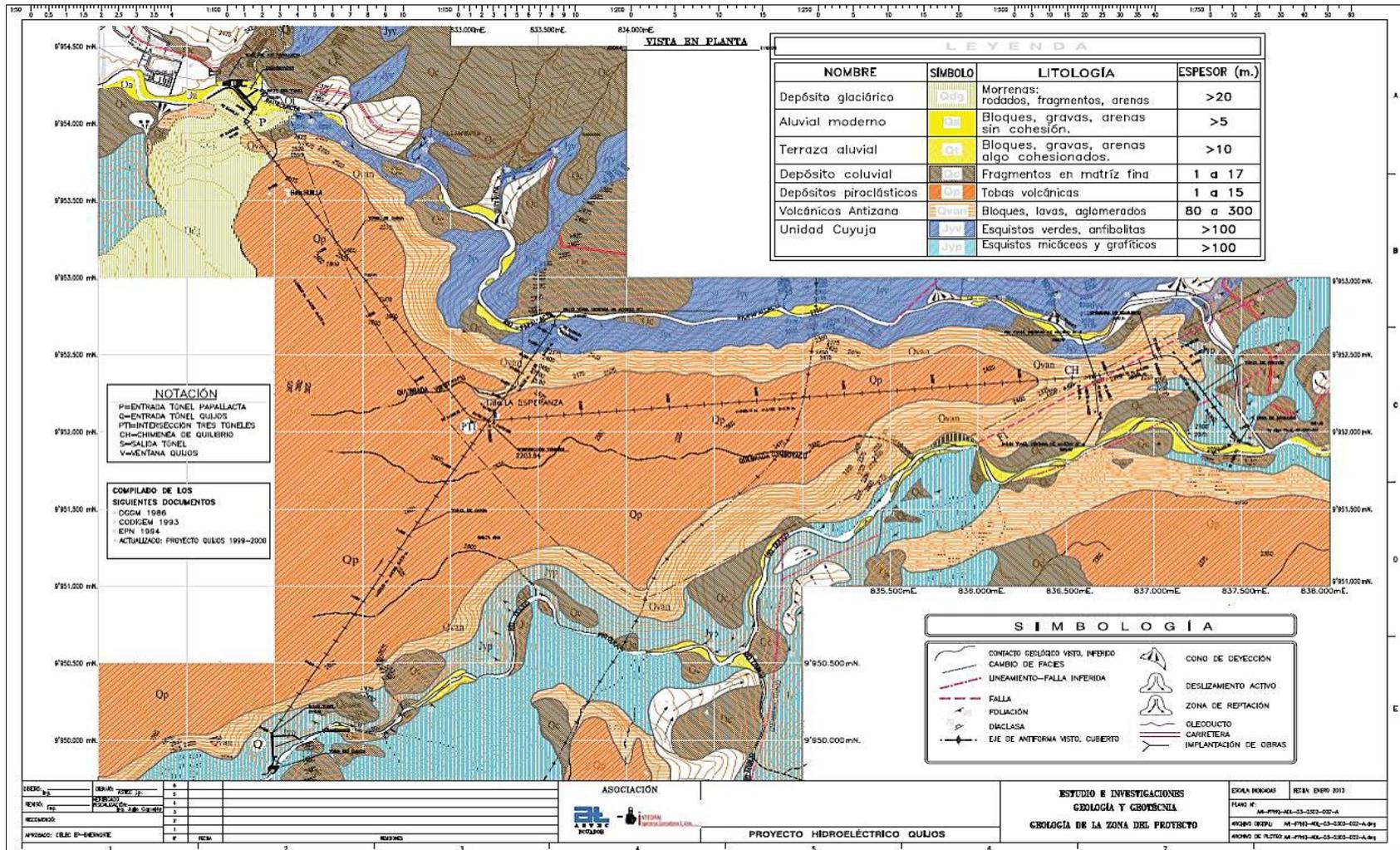
4. Esquistos, metalavas y metagrauvas, unidad Upano (ju), Jurásico

La unidad Upano está definida como una subdivisión litotectónica compuesta de una secuencia de rocas verdes andesíticas asociada con rocas metasedimentarias las cuales forman una faja de alrededor de 18 km de ancho a lo largo de las estribaciones orientales de la cordillera Real. La unidad aflora hasta el Oeste de Baeza, en la vía Papallacta-Baeza. (Trouw, 1976), los agrupó en la Formación Baeza.

El PHQ, ocupa la mayor parte de la unidad Upano, desde cerca de la confluencia de los ríos Papallacta y Quijos hasta el Occidente de la ciudad de Baeza, esto es, al Oriente (faja oriental) de la falla subandina y limitada al extremo Oriental por la falla Cosanga. La edad de esta unidad corresponde al periodo Jurásico (Faucher, B., et al., 1975).

¹Fuente: Registros obtenidos de la Empresa Eléctrica Quito S.A (EEQ S.A). “Los estudios y diseños para el Proyecto Hidroeléctrico Quijos”, a las compañías ASTEC- INTEGRAL. Estudio de Impacto Ambiental Definitivo (EIAD) que fue aprobado el año 2009 por CONELEC.

Gráfico 2: Geología del Proyecto



Fuente: ASTEC - INTEGRAL

C. VULCANISMO

El volcán más cercano al área de estudio es el Volcán Activo Antisana que se encuentra al extremo Occidental del PHQ, ubicado en los límites de la provincia de Pichincha y Napo en la cordillera Real a una distancia de 50 km, al sureste de Quito y a 30 km al Oeste de Baeza entre las parroquias de Papallacta y Cuyuja.

Su altura es de 5.758 m y 13 km de base. Es un estratovolcán formado sobre los restos de una caldera anterior con un diámetro de 1.800 m², es uno de los volcanes más anchos y el cuarto volcán más alto del Ecuador que fue formado sobre un basamento metamórfico Mesozoico y una secuencia vulcano-sedimentaria Cenozoica (Litherland et al, 1994).

Flujos de lava reciente pueden encontrarse tanto en los flancos del volcán como en las proximidades. Ha presentado erupciones no explosivas, a lo sumo nubes dispersas de ceniza y vapor de agua, sin embargo la característica principal de este volcán son sus lavas espesas que han recorrido decenas de kilómetros. Este caso de erupción es único en los volcanes del Ecuador.

Erupciones históricas en 1728 se formó el flujo de lava Antisanilla cuyo punto de emisión está localizado 12 km al Sureste de Píntag, mientras que en 1773 fue emitido el flujo de lava de Potrerillos que penetró y relleno parcialmente el antiguo valle glaciar del Río Papallacta estancando su caudal y dando lugar a la formación de la laguna que lleva el mismo nombre. En 1801 una erupción potente de tipo estromboliano, que creó también flujos de lava. Se formó un domo en la cima haciendo desaparecer el cráter principal.

Las lavas del Antisana varían en composición desde andesitas máficas hasta dacitas altamente evolucionadas.

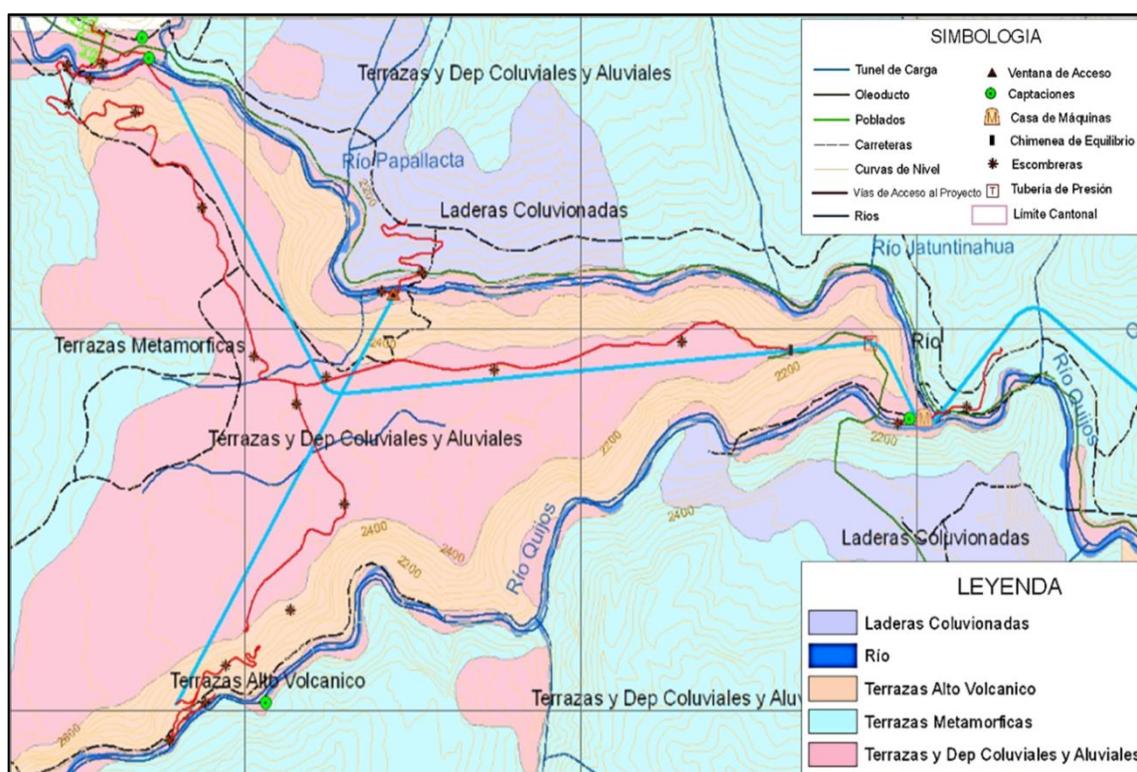
A nivel petrográfico, se caracterizan por una mineralogía asombrosamente homogénea, que incluyen fenocristales de plagioclasas, clino y ortopiroxeno, así como ilmenita y magnetita. La textura de las lavas es altamente porfírica.

D. GEOMORFOLOGÍA

La geomorfología del área del proyecto y su área de influencia puede agruparse en:

- Zonas con alto relieve con pendientes abruptas mayores a 45°.
- Zonas desfavorables o de desgarre con pendientes medias de 24° a 27°.
- Zonas con pendientes suaves a semiplanas con gradiente de 0° a 14° y de 0° a 5° respectivamente.

Gráfico 3: Geomorfología



Fuente: ASTEC - IINTEGRAL

En el área, es posible distinguir dos grandes unidades geomorfológicas principales y dos unidades secundarias o menores, estas cuatro unidades se describen a continuación:

1. Terrenos alto volcánicos

Se encuentran cubriendo en gran parte a terrenos y rocas metamórficas. Esta se caracteriza por la formación de paisajes con perfiles abruptos con fuertes pendientes en lugares en que

afloran rocas volcánicas libres de cualquier tipo de cobertura, son macizos rocosos compuestos principalmente por lavas y brechas.

2. Terrenos metamórficos

Están conformados por rocas más antiguas sometidas a un mayor intemperismo y por ende a la meteorización y a una fuerte erosión fluvial que va dejando como testigos valles estrechos en forma de “V”, dominado por un paisaje de cuevas con marcados desniveles, en los que se observa la presencia de deslizamientos, a manera de cicatrices, de diversa magnitud.

3. Laderas coluvionadas

Es una unidad secundaria generalmente ubicada en las laderas de pendientes medias a altas, donde los suelos de cobertura ya sean producto de la meteorización o por caída de ceniza, son desprendidos desde las partes altas, y movidos pendiente abajo.

4. Terrazas y depósitos coluviales y aluviales

Son fruto de la acumulación de materiales erosionados, se encuentran usualmente en las partes inferiores de los valles junto a ríos y quebradas, en ellos predomina una morfología de planos horizontales y semi-horizontales, son materiales de diversa composición y tamaño.

a. Morfología

Las variaciones altitudinales dentro del Proyecto son significativas, la altura mayor dentro de la captación del río Papallacta es de 2550 msnm, mientras que la cota de captación en el río Quijos de 2350 msnm; la cota en la casa de máquina ubicada en la meseta del Huila es de 2075 msnm, existiendo una diferencia altitudinal entre la captación de Quijos respecto, a la casa de máquinas de 275 m.; una diferencia altitudinal entre la captación de Papallacta, respecto a la casa de máquinas de 475 m.

En las partes altas de la cordillera donde predominan materiales volcánicos se observan formas algo suaves por la cobertura de cenizas y piroclastos, no así donde afloran libremente rocas volcánicas y metamórficas en que es común observar formas angulosas, vértices pronunciados, grandes escarpes, laderas empinadas y quebradas profundas en forma de “V”. Formas planas con ligeros declives se aprecian tanto en terrenos coluviales como en aluviales y terrazas, que generalmente ocupan el fondo de los valles.

E. TECTÓNICA Y GEOLOGÍA ESTRUCTURAL

La evolución tectónica neógena y cuaternaria de los Andes se debe al proceso de subducción de la Placa Oceánica Nazca bajo la Placa Continental de América del Sur. Los contactos litotectónicos dentro del cinturón metamórfico (Unidad Cuyuja) en esta parte de la Cordillera Real están comúnmente marcados por las siguientes fallas que se encuentran fuera del área del proyecto:

- Falla Llanganates (FL), controla el contacto entre las Unidades Granito Tres Lagunas y Chiguinda (fuera del área).
- Falla Subandina (FS), entre Cuyuja y Baeza se encuentra afectando los terrenos de la Unidad Upano.
- Falla Cosanga (FC), ubicada hacia el oriente de Baeza, corre a la largo del Río Quijos en sentido aproximado norte 30 grados este, es el contacto entre materiales del Grupo Margajitas y rocas volcánicas continentales ubicadas hacia el oriente.

Todas estas fallas (inversas/dextrales) tienen buzamiento hacia el oeste y constituyen planos de cabalgamiento o sobrecorrimiento de oeste a este, procesos de los que han quedado remanentes o relictos conocidos como napes.

El sistema de fallas en el área es muy complejo, las mismas que separan los terrenos litotectónicos fuera y en el área del proyecto (Oeste-Este).

F. HIDROGEOLOGÍA

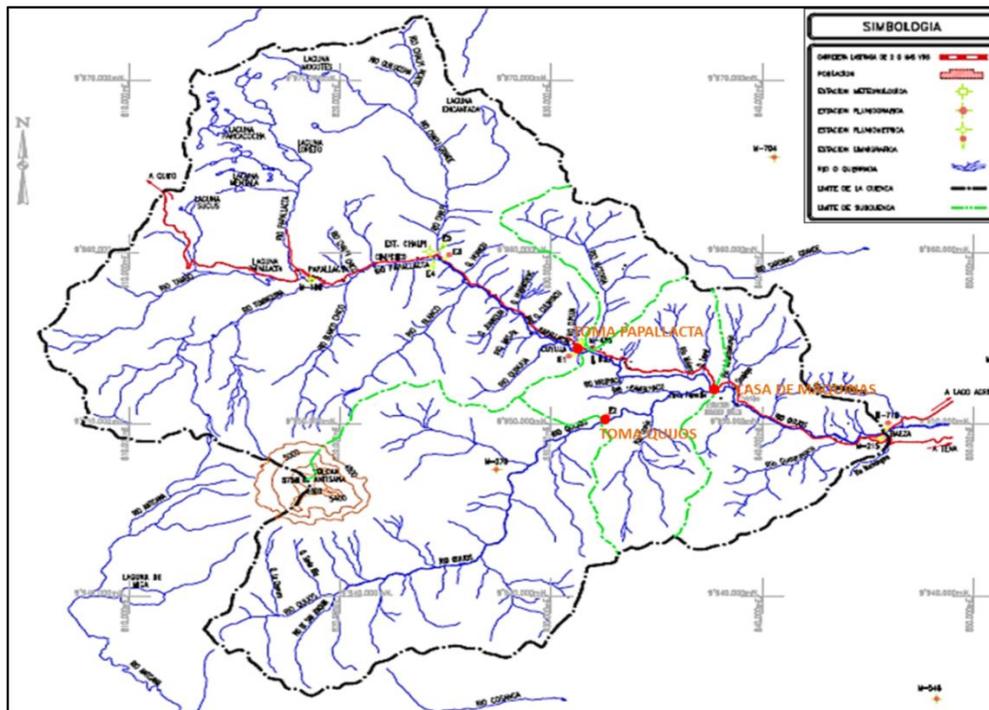
El proyecto aprovecha el potencial hidroenergético de los ríos Victoria, Papallacta y Quijos con tomas ubicadas antes de su confluencia. Ambas tomas derivan el recurso hasta la casa de máquinas ubicada en las inmediaciones de la confluencia del río Quijos con el Papallacta.

El recurso hídrico está en la vertiente Oriental de los Andes y corresponde al curso superior del sistema fluvial Papallacta-Quijos-Coca-Napo-Amazonas que drena al Océano Atlántico.

El río Papallacta en su trayecto recoge los aportes de los afluentes Chalpi Grande, Tambo, Tuminguina, Blanco Grande y Blanco Chico, afluentes éstos. En el Quijos, se tiene que de dos de sus afluentes superiores, nominados como Quijos Sur y Quijos Norte.

El sistema hidrológico puede ser determinado de la siguiente manera: cuenca del Río Quijos; subcuenca del río Papallacta, subcuenca del río Quijos y microcuenca del río Victoria.

Gráfico 4: Mapa Hidrológico



Fuente: ASTEC - INTEGRAL

G. AMENAZAS POTENCIALES DEL PROYECTO HIDROELÉCTRICO QUIJOS

Por la importancia y magnitud del Proyecto, es necesario considerar los posibles peligros a los que podría estar sometida la implantación de las obras tanto de captación, conducción y casa de máquinas.

Las amenazas en el área se limitan a las de origen natural (geológicas): volcánicas, sísmicas, deslizamientos o movimientos de masas, las cuales han afectado al desarrollo socio-económico armónico del sector y por supuesto al del medio ambiente.

1. Volcánicas

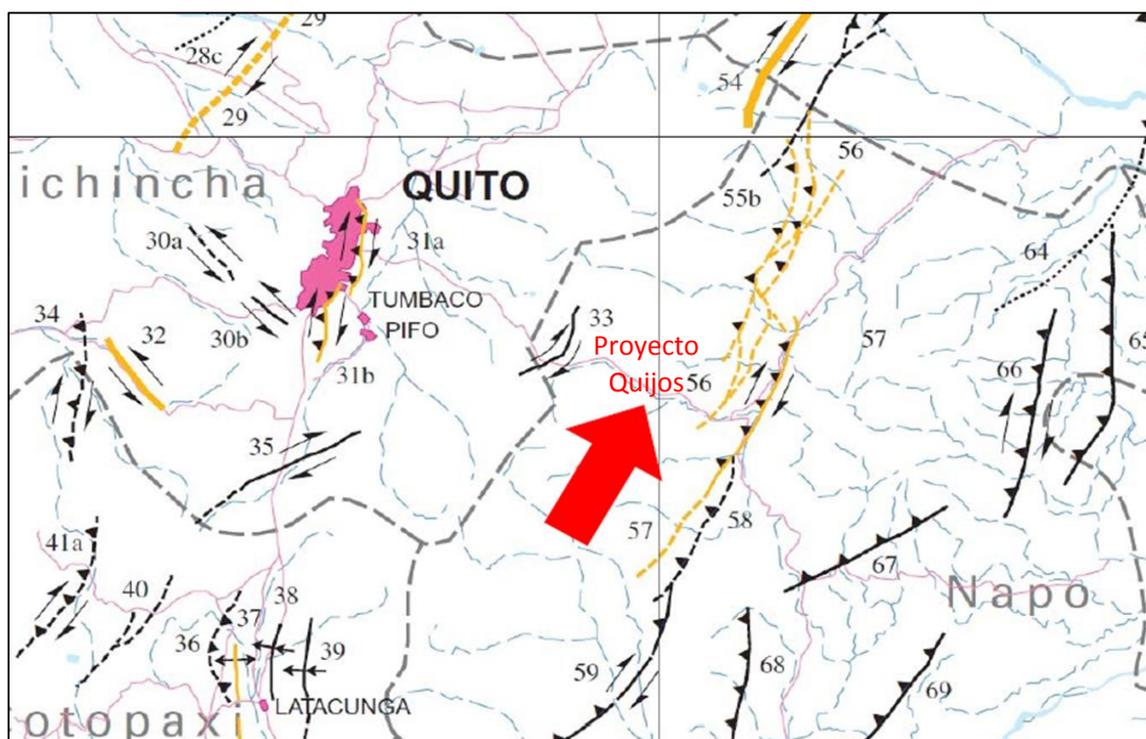
En el área de influencia directa, la afectación podría presentarse ante una reactivación del volcán activo Antisana localizado al Sur-Este del proyecto. Dependiendo del tipo y naturaleza de la erupción, los productos que podrían causar problemas son la caída de ceniza, lapilli y material lítico dependiendo de la dirección del viento. El resto de volcanes se localizan fuera del área de influencia directa (Chacana, Reventador, Pan de Azúcar y Sumaco), también se aplica el mismo criterio.

2. Sísmicas

Tomando en cuenta el modelo sismogénico del país, las zonas más propensas a fenómenos sísmicos son la zona de subducción activa en la costa y de un margen tectónico transcurriente entre la placa Norte Andina y la placa Sur Americana, localizada a lo largo del graben interandino, el PHQ se coloca en proximidad con algunas zonas sísmicas activas y se lo considera sísmicamente como de crítico a alto.

La generación de los sismos en el área se relaciona con la presencia del sistema complejo de fallas consideradas como fuente generadora de la aceleración máxima como el sistema de fallas transcurrentes e inversas. Donde se destacan las fallas Papallacta (número 33), Chingual, Cosanga (58), Salado (56) y Baeza-Chaco (57) que se indican a continuación.

Gráfico 5: Mapa de Fallas y Pliegues Cuaternarios del Ecuador



Fuente: Eguez, Alvarado y Yepes, (2003).

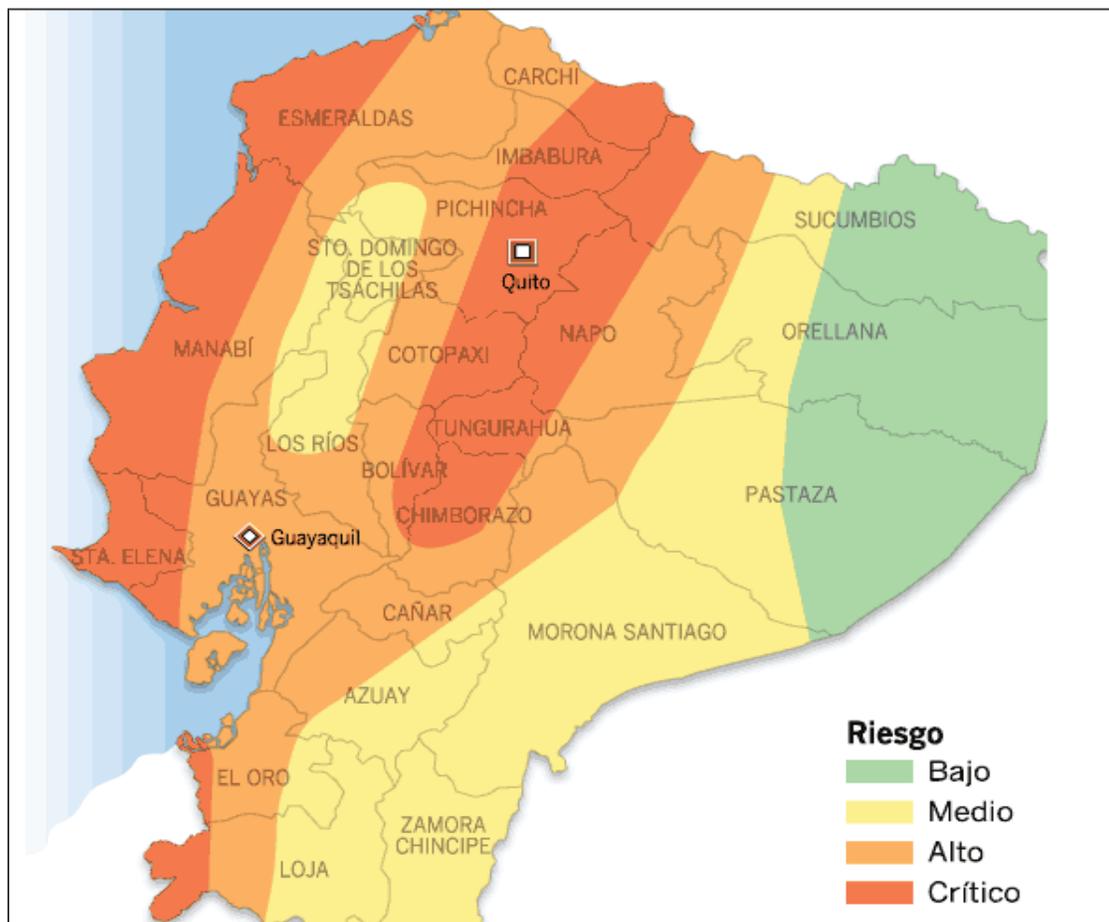
- Al Oeste se encuentra la Falla Papallacta (33) de 16,1 km de longitud y dirección de 39°Norte, caracterizada por movimientos de tipo dextros con velocidad promedio menor de 0,2 mm/año.
- Al Este se encuentra una banda de fallas paralelas del sistema el Chaco-el Reventador, de longitud de más de 200 Km y orientada entre N18° y N30°, compuesta por la Falla Salado, Falla Baeza-Chaco y Falla Cosanga. Las fallas son caracterizadas por movimientos transpresivos dextros con velocidad promedio entre 1mm/año y 5mm/año.

Según el Instituto Geofísico Nacional el sitio se ubica en un sector incluido en la placa continental Sudamericana y en el Bloque Norandino, donde se verifican sismos con características de baja profundidad de hipocentro.

El sismo histórico más fuerte, de magnitud 6.9 Ms, considerado como terremoto muy significativo a nivel mundial, ocurrió el día 6 de Marzo de 1987 y fue causado por la activación de la Falla Salado.

Se señala en fin que la cercana población de Baeza fue sujeta a terremotos con magnitud de 4.8 el día 24 de Octubre de 2005 y de 4.7 los días 26 y 27 de Octubre de 2007.

Gráfico 6: Zonas Sísmicas del Ecuador



Fuente: Código Ecuatoriano de Construcción

3. Movimiento en masa

En el área se puede identificar dos zonas susceptibles a los movimientos de masas inestables (MTI): la Faja Subandina (central y oriental) entre las poblaciones de Papallacta, Cuyuja y Baeza, y las zonas ubicadas a lo largo de los ríos Quijos–Papallacta y sus drenajes menores en las paredes laterales.

Los procesos de inestabilidad como deslizamientos, desprendimientos, derrumbes y hundimientos se generan por procesos de escorrentía (clima/temperatura), erosión,

deforestación, entre otros, estos ocurren en zonas caracterizadas por fuertes pendientes, precipitaciones extremas, parámetros de bajo grado de resistencia geomecánica de las rocas y suelos, influencia de debilidad geológica como fracturas, niveles freáticos superficiales y acción antrópica como construcción de obras civiles sin normas adecuadas de prevención y de seguridad constructiva.

Estos eventos de pequeña y gran magnitud pueden ser considerados como recurrentes, estos se generan, por lo general durante la época invernal. El proyecto se vería afectado por este fenómeno en las obras constructivas que se realicen a “cielo abierto”, no así, las obras subterráneas que supuestamente no se verían afectadas.

4. Antrópicas/Tecnológicas

Se producen por la acción del hombre y la industria (sistemas constructivos) hacia la contaminación del medio ambiente como la explotación irracional de los recursos naturales, ubicación de los desechos producto de cortes o rellenos en la construcción de vías, explotación de materiales para la construcción, manejo-manipulación inadecuado de explosivos, combustibles, productos químicos, desechos peligrosos, entre otros.

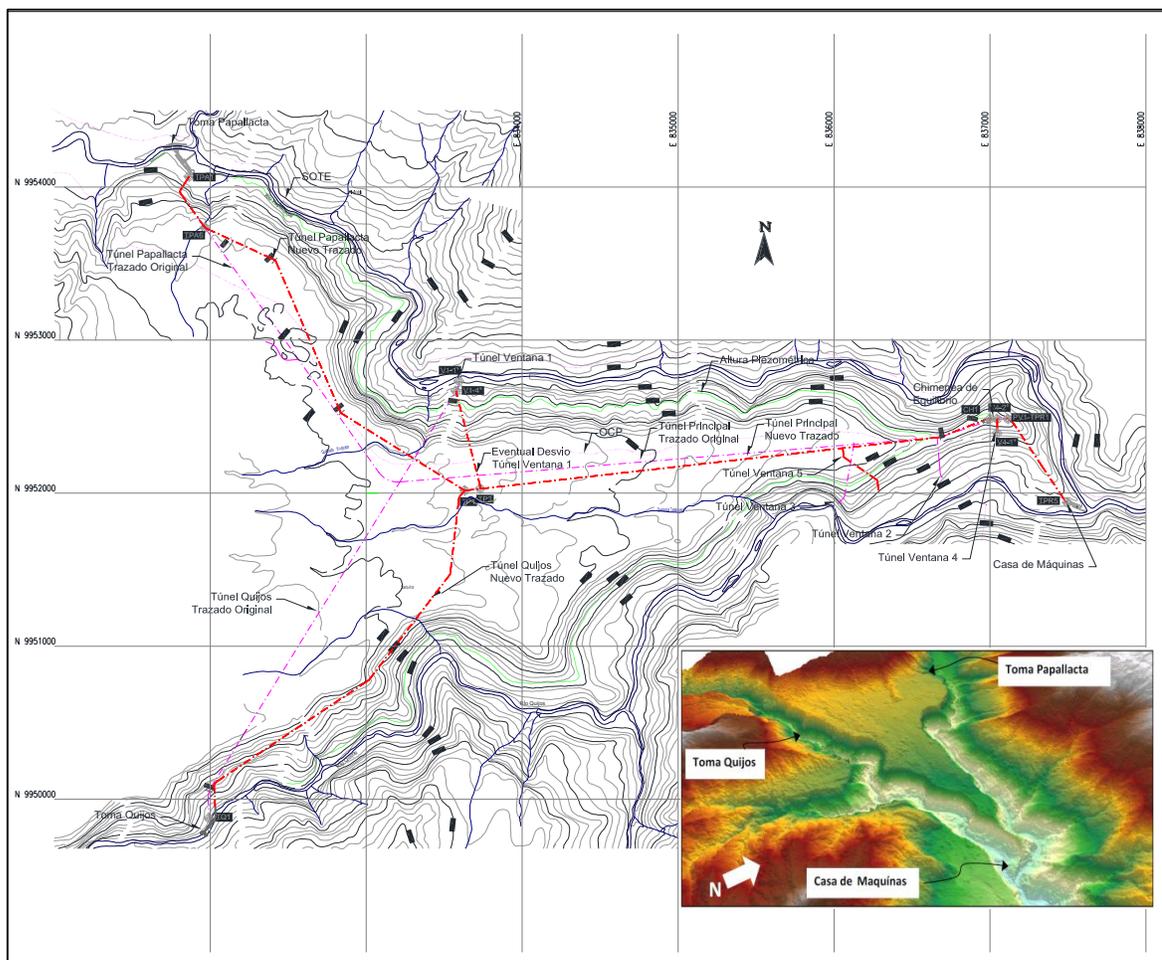
El proyecto podría verse afectado en los procesos de construcción con la pérdida del abastecimiento de los insumos, productos, equipo pesado, etc., que vendría de la capital debido al cierre temporal de la vía de penetración al proyecto (Quito-Pifo-La Virgen-Papallacta-Cuyuja)

IV. MATERIALES Y MÉTODOS

A. CARACTERÍSTICAS DEL LUGAR

El Proyecto Hidroeléctrico Quijos aprovecha las aguas de los ríos Papallacta-Victoria y Quijos mediante la ejecución de obras civiles hidráulicas tales como captaciones (toma Papallacta, y toma Quijos), conducciones (túnel secundario Papallacta, túnel secundario Quijos, túnel Principal, pozo vertical y ventanas de acceso), chimenea de equilibrio, tuberías de presión, casa de máquinas, subestación y obras complementarias como las vías de acceso, campamentos, talleres, escombreras, entre otras.

Gráfico 7: Implantación del Proyecto Hidroeléctrico Quijos



Fuente: ASTEC INTEGRAL – Lombardi, (2014).

La planta generará una potencia de 50 MW por medio de tres unidades de aproximadamente 17MW tipo Francis. La casa de máquinas es en proximidad de la unión entre los ríos Papallacta y Quijos, en la cota de 2040 msnm.

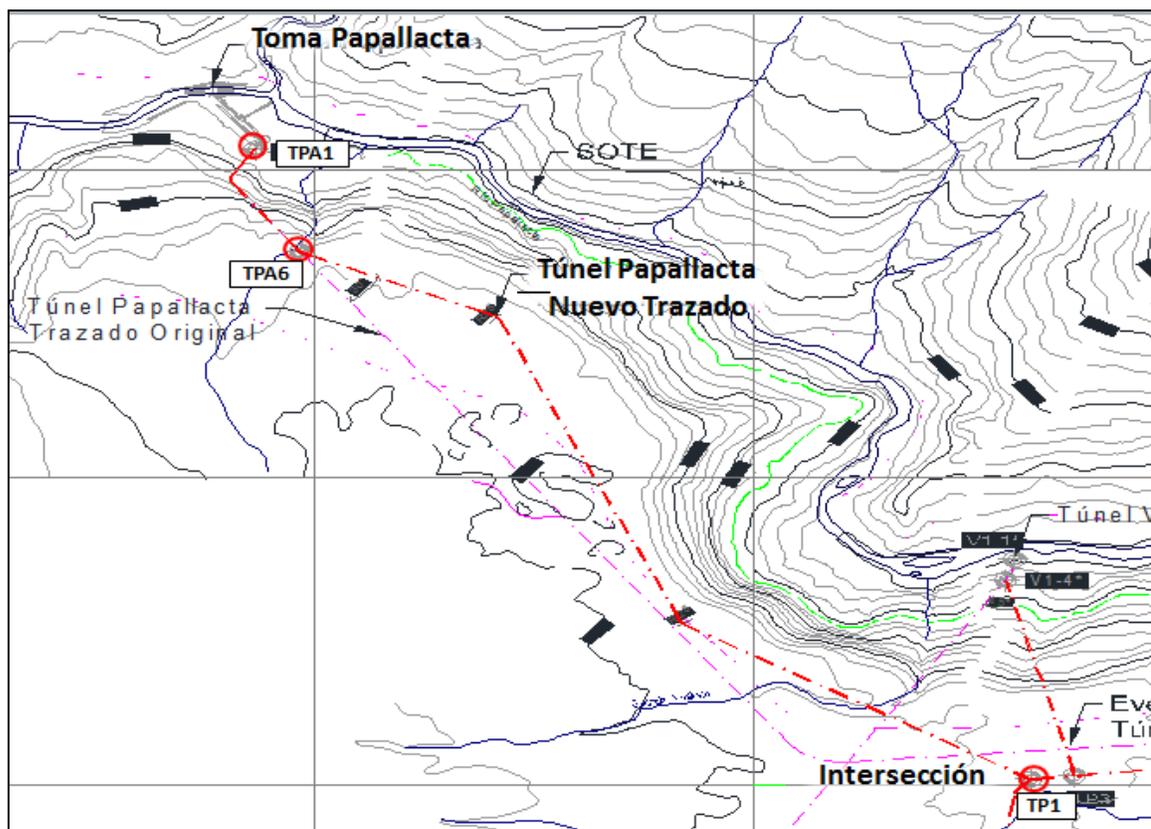
El trazado de túnel Papallacta tiene una longitud de 2.894,27 m. con una pendiente variable entre 1.00 a 10.0% y se encuentra en las siguientes coordenadas geográficas:

Cuadro 1: Puntos de referencia de Túnel Papallacta

Puntos	Coordenada Este	Coordenada Norte	msnm
T-PA1	831863,78	9954067,20	2320,70
T-PA6	831966,79	9953733,11	2305,62
T-P1	833632,27	9952016,81	2279,70

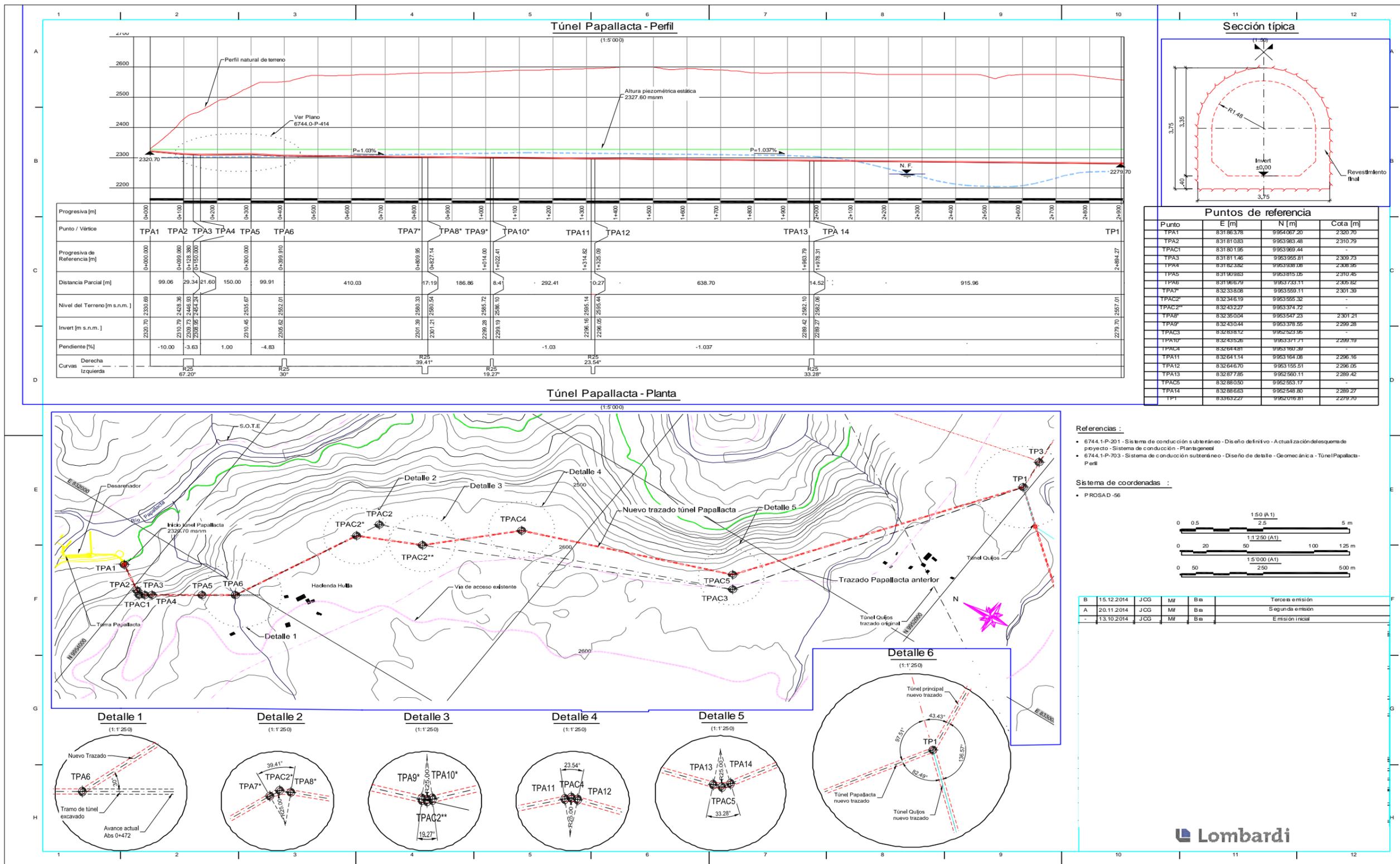
Elaborado por: Martha Tigre

Gráfico 8: Puntos de referencia de Túnel Papallacta



Fuente: ASTEC INTEGRAL – Lombardi, (2014)

Gráfico 9: Trazado de túnel Papallacta - Perfil y Planta



Fuente: ASTEC INTEGRAL - Lombardi, (2014).

1. Ubicación

El Proyecto Hidroeléctrico Quijos (PHQ), se encuentra ubicado en las estribaciones orientales de la Cordillera Real, en la parte alta de la cuenca hidrográfica del río Quijos-Coca entre: Las Parroquias de Cuyuja y Baeza, Cantón Quijos, Provincia de Napo, (ver gráfico 8). Aproximadamente a 80 km al Sur-Este de la ciudad de Quito y a 17 km de la población de Papallacta.

Todas las obras civiles del Proyecto Hidroeléctrico Quijos se encuentran dentro de las siguientes coordenadas geográficas:

Cuadro 2: Coordenadas Geográficas del Proyecto Hidroeléctrico Quijos

Referencia	Coordenada Este	Coordenada Norte	msnm
Toma-Papallacta	831863,78	9954067,20	2320,70
Toma-Quijos	832031,55	9949951,12	2320,00
T-P-P-Q	833632,27	9952016,81	2279,70
Casa de Máquinas	837496,53	9951937,64	2041,48

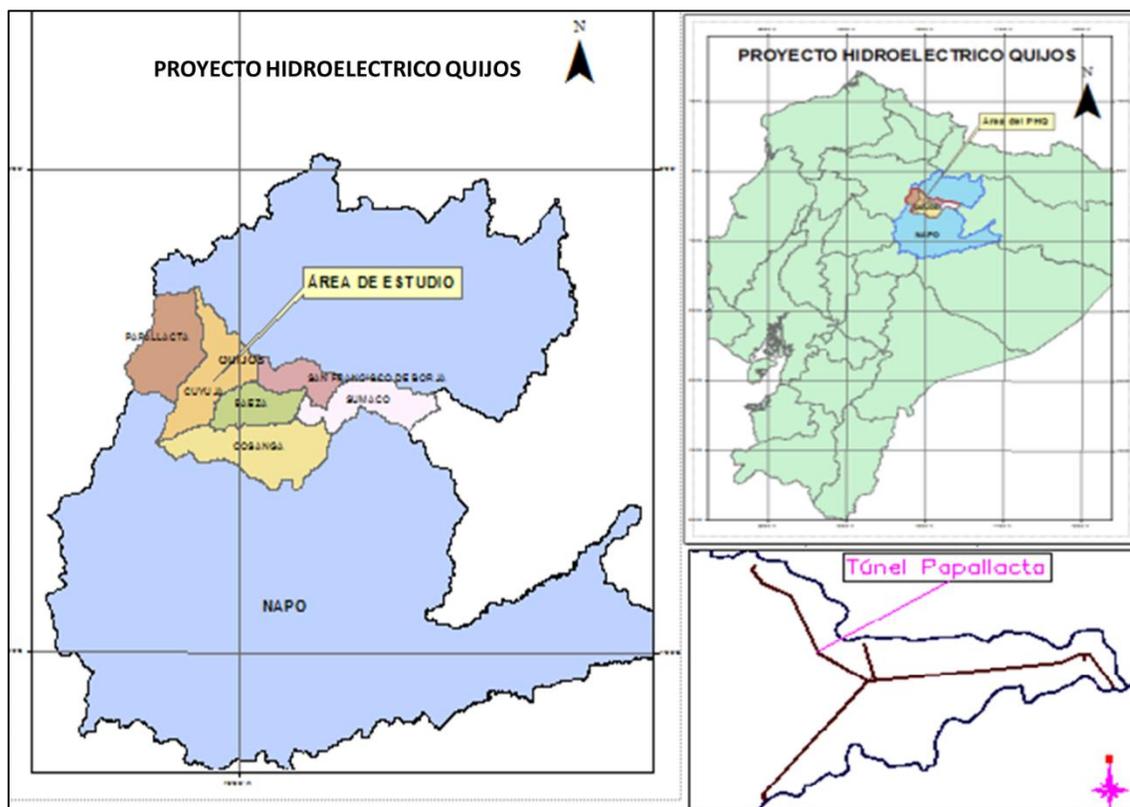
Elaborado por: Martha Tigre

2. Acceso

El acceso principal al área de estudio del Proyecto Hidroeléctrico Quijos es por la carretera interoceánica Quito-Baeza, Lago Agrio que es una vía de primer orden con un recorrido de 75 km hasta la Parroquia Cuyuja. También existen desviaciones que van al Tena, Coca y otras vías secundarias.

Adicionalmente dentro de la zona del Proyecto existen varias vías de acceso hacia toma Papallacta, toma Quijos, Ventana N° 1, Ventana N° 4, Casa de Máquinas y un camino de acceso hacia la Chimenea de Equilibrio.

Gráfico 10: Ubicación General del Proyecto



Elaborado por: Martha Tigre

3. Condiciones meteorológicas

a. Temperatura

La temperatura registrada en toda la cuenca fluctúan entre los 0°C (mínima absoluta en Papallacta) hasta los 29,8°C (máxima absoluta en Baeza).

La información de los vientos es escasa, los valores son: 28 km/hora en Papallacta y en el Reventador 41 km/hora.

b. Precipitación

La tendencia de la distribución anual de lluvias aumenta hacia la llanura amazónica, desde aproximadamente los 1300 mm³/año en las cabeceras más occidentales de la cuenca hasta

los 1950 mm³/año en la confluencia Papallacta-Quijos (año medio). El valor anual en la cuenca Papallacta es de 1310 mm³/año.

Los registros anuales son hasta el año 1992 y han sido tomados del informe realizado por la Escuela Politécnica Nacional a la EEQ S.A. en los que algunos meses han sido rellenados y no se han extrapolado los registros antes de 1980, debido a las correlaciones bajas.

Cuadro 3: Lluvias anuales en los sitios de obra (mm/año)

Sitios	Año seco	Año medio	Año húmedo
Tomas Quijos y Papallacta	1.760	1.880	2.320
Casa de Máquinas Quijos	2.020	2.120	2.540

Fuente: EEQSA-EIAD

c. Humedad

En toda el área la humedad relativa es alta, con valores medios anuales superiores al 70%.

Los datos de la humedad son el resultado de observaciones diarias. Los valores medios son el promedio de todos los días. Las humedades relativas abarcan un rango que va desde los 38% (mínima en Papallacta) hasta el 100% (máxima detectada en todas las estaciones).

4. Características del suelo

a. Vegetación

Según el Catálogo de plantas Vasculares que usa las formaciones de vegetación del Ecuador (Harling, 1979), la vegetación de la zona de influencia de la Central Quijos corresponde a Bosque lluvioso montano bajo. El esquema de Harling es simple, con 16 clases principales de vegetación y es suficiente como un esquema para discutir los tipos de vegetación del Ecuador (Neil, 1999).

En la clasificación de Harling, el bosque lluvioso montano bajo que crece en las cordilleras orientales y occidentales de los Andes entre los 700 y 2500 msnm de elevación. Siguiendo

el término común de "bosque nublado" usado en otros lugares de América tropical, esta zona así como el bosque sobre los 2500 msnm de elevación puede propiamente llamarse "bosque nublado" junto con el bosque montano alto.

Las características climáticas y fisionómicas del bosque nublado están presentes en este tipo de vegetación: una humedad atmosférica alta más o menos constante, neblina frecuente asociada con llovizna, una gran cantidad de epífitas vasculares así como de briófitos en las ramas y troncos de los árboles.

Según la clasificación propuesta por (Sierra, 1999) la zona de la Central Quijos corresponde a Bosque Siempre verde montano alto, esta formación se encuentra entre los 2000 y 4000 msnm, ocupando la parte media de los flancos externos de la Cordillera Oriental, el bioclima es temperado húmedo, caracterizado por temperaturas entre 12 y 18 °C y precipitaciones anuales entre 2000 y 4000 mm.

La parte baja de la Central Quijos corresponde a Bosque siempre verde piemontano, de la cordillera oriental, altitudinalmente se sitúa entre los 1200 a 2000 msnm; el bioclima es subcálido superhúmedo, la temperatura está entre los 18 y 23 °C, en tanto la precipitación supera los 4000 mm.

Estas zonas de vida han sido alteradas a través del tiempo, para el establecimiento de sistemas productivos, por lo que paulatinamente el bosque ha sido remplazado en una gran extensión, por pastos cultivados que actualmente ocupan una superficie aproximada de 351,57 ha. (Sierra, 1999).

1). Tipos de Vegetación

Por la intervención antropogénica en la mayoría del área de influencia la vegetación se cataloga como pastizales y remanentes de bosque secundarios.

² Fuente: La información de las condiciones meteorológicas, el suelo, flora, fauna ha sido tomada del Estudio de Impacto Ambiental Definivo (EIAD) del PHQ realizado por la EEQSA en septiembre de 2009.

a) **Bosque Secundario**

Este tipo de bosques constituyen especialmente aquella vegetación, la cual es producto de una alteración causada, por actividades antrópicas o por procesos naturales como: deslizamientos de tierra, tala, quema, entre las principales. Sin embargo, el término implica, usualmente, las alteraciones hechas por personas, incluyendo la tala y limpieza del bosque maduro para cultivos o potreros (Stahl, 1999).

En este tipo de bosque dominan las especies pioneras entre las más abundantes tenemos a: *Chusquea spp*, *Erythina edulis*, *Barnadesia parviflora*, *Trema micranta*, *Heliocarpus americanus*, *Baccharis latifolia*, *Piper spp*, *Miconia spp*, *Inga spp* y *Cecropia spp*.

b) **Pastizales**

Estas formaciones dominan en los terrenos donde la inclinación es baja y moderada e incluso existen zonas con elevadas inclinaciones cubiertas por pastos, cabe mencionar que los intentos naturales por repoblar estas zonas con vegetación pionera son interrumpidos por acciones humanas.

Las especies que dominan estas zonas son representantes de la familia Poaceae y corresponden básicamente a: *Paspalum bonplandianum*, *Paspalum virgatum*, *Pennisetum purpureum*, *Paspalum dilatatum*, *Pennisetum clandestinum* y *Holcus lanatus*.

b. **Uso del suelo**

El uso actual y potencial del suelo en el PHQ, está dedicada a plantaciones forestales, cultivos, pastos, bosques, las que nos sirven para actividades agrícolas-ganaderas (haciendas: vacuno, ovino, avícola y porcino) y agroindustriales (piscícolas), turismo y recreativas (piscinas, senderos ecológicos y contemplación del paisaje).

Desde el punto de vista de la cobertura del suelo, el área donde se implanta el PHQ, el suelo se encuentra cubierto por vegetación estratificada baja y alta. La baja está relacionada con diferentes clases de pastos, arbustos, matorrales y hierbas típicas de las zonas de páramo y subtropical, mientras que la parte alta se circunscribe casi a las zonas medias y

altas compuesta por bosques secundarios los cuales se circunscriben a las zonas altas o de escarpe abruptos de la zona.

En las zonas altas se observan áreas “desnudas” donde no hay presencia de suelos ni cobertura vegetal, especialmente, en las paredes verticales compuestas por los flujos de lava del Antisana (río Papallacta) y en las terrazas aluviales del río.

5. Flora

La mayoría del paisaje está dominada por terrenos colinados, donde predominan los pastos, la vegetación nativa es limitada, se encuentra en zonas inaccesibles como depresiones del terreno, partes altas y cimas de pequeñas y medianas colinas.

Se realizó un muestreo cuantitativo en la Toma Río Papallacta a una altitud de 2330 msnm, ubicado en las proximidades del río, en un remanente de vegetación nativa rodeado por pastizales, el río y una pared rocosa de aproximadamente 50 m de alto, aproximadamente a 1 km del poblado de Cuyuja.

Los árboles emergentes superan los 15 m de alto y son muy escasos en toda la franja de vegetación junto al río.

- El dosel está por debajo de los 15 m y posee numerosos claros dejados por la caída de árboles.
- El subdosel alcanza los 10 m y es mucho más abierto que el dosel.
- El sotobosque no supera los 4 m de alto y esta densamente representado por suro, helechos, mora y chilca abundantes en la orillas del remanente.
- El estrato herbáceo es también abundante y está cubierto en su mayoría por plántulas de suro, porotillo, espino blanco y plantas desarrolladas de ortiga, commelina y varias especies de la familia Poaceae.

En este remanente son escasas las epifitas, entre las cuales existe un claro dominio de musgos y hepáticas, bromelias, orquídeas, líquenes y representantes de las familia Araceae son escasos.

6. Fauna

Para determinar la diversidad y riqueza de la fauna, dentro del proyecto y en la zona de amortiguamiento, se utilizó la metodología de trabajo de un sondeo rural rápido, en el cual mediante la identificación de pelos, fecas y huellas se determinaron algunas especies de fauna. Esta información se validó o se rectificó en las conversaciones mantenidas con habitantes del sector.

El estado de conservación de las especies descritas en el presente informe se basa en el Libro rojo de los mamíferos y aves del Ecuador 2001. CITES, incluye las especies de mamíferos protegidas por la Convención sobre Comercio Internacional de las Especies Amenazadas.

a. Mamíferos

Oso de anteojos, lobo de páramo, puma, gato montano o andino, cuchucho andino, guanta, ciervo enano, ciervo colorado, entre otros. En los humedales encontramos especies comunes y generalistas como: raposa común, murciélago orejón andino, ardilla, armadillo, conejo de páramo, entre otras.

Las especies endémicas son: puerco espín, ratón de cola corta común asociado a humedales, rata pescadora o acuática, ratón andino de páramo, ratón orejón del Ecuador y musaraña andina.

b. Aves

Zambullidor plateado, pato puntiado, garceta grande, avefría, perdiz de páramo, gralaria leonada. Las especies amenazadas son: pava carunculada, tucán andino pechigris, guacamayo militar, tangara montana enmascarada, cotinga ventricastaña, jacamar pechicobrizo, picocono gigante, periquito alipunteado, cóndor andino. El total de especies registradas es de 38 especies, pertenecientes a 10 órdenes, 19 familias, se observaron un total de 189 individuos.

c. Anfibios y reptiles

Sapos, ranas, salamandra, cecílido, culebras y lagartijas.

7. Características socio-económicas

El proyecto se realiza en una región de colonización desarrollada que se fundó como parroquia de Cuyuja el 07 de febrero de 1963.

La actividad económica de la población es principalmente la ganadería para la producción de la leche con lo que generan sus propios productos o brindando su mano de obra en la haciendas que se encuentran aledañas a la parroquia.

Por otro lado el nivel de ingreso de un trabajador ganadero es de entre 15 y 20 dólares diarios sin comida, y los trabajadores que realizan actividades para entidades gubernamentales o empresas privadas reciben sueldos establecidos en la ley.

B. CARACTERISTICAS Y COMPORTAMIENTO GEOMECANICO DEL MACIZO ROCOSO

1. Introducción

Un estudio geomecánico evalúa las propiedades mecánicas de la roca intacta, de las discontinuidades y del macizo rocoso como tal. Las propiedades mecánicas de los macizos rocosos deben incluir el estudio de los parámetros de deformabilidad y de resistencia, a fin de estudiar el comportamiento del macizo rocoso frente a procesos de desestabilización por efecto de la construcción de la obra. (Andrade, 2004, p.15)

Como ciencia, la Geodinámica abarca y se apoya en disciplinas como:

a. Mecánica de suelos

Surgió como ciencia en 1925, por Karl Terzaghi quien publicó el trabajo titulado: “Mecánica de las construcciones de tierra basada en la física de los suelos”; pero no fue así

hasta 1936 cuando quedo formalmente establecida como disciplina de la Ingeniería Civil. La mecánica de suelos tiene por objeto estudiar el comportamiento de los suelos según formulaciones teóricas de base científica, además de ensayos de campo y laboratorio necesarios para determinar las propiedades de los suelos; y datos exigidos en cálculos de dimensionamiento en obras de ingeniería, tales como: cimentaciones, estabilidad de túneles y taludes, sostenimiento de suelos y uso del mismo como material de construcción.

b. Mecánica de rocas

Se desarrolló como disciplina en programas de ingeniería en 1960. Se la reconoce como materia interdisciplinaria con aplicación en Geología e ingenierías en Minas, Petróleos y Civil, relacionándose con proyectos de desarrollo energético, transporte e instalaciones de defensa. La mecánica de Rocas estudia el comportamiento de las masas de roca y especialmente las propiedades que tiene importancia en la resistencia del macizo rocoso. Se debe tener cuidado de distinguir entre las propiedades que provienen de una muestra de mano y aquellas obtenidas por medio del estudio del macizo rocoso in situ.

La caracterización de un macizo rocoso constituye la fase inicial en todo estudio geológico-geotécnico e implica la descripción de las características particulares que intervienen y juegan un papel importante en el comportamiento geomecánico del macizo frente a procesos de desestabilización por efecto de la construcción de la obra subterránea, o cualquier otro mecanismo que altere el estado inicial del macizo rocoso como elemento de construcción. (Andrade, 2004, p.21)

El análisis geomecánico envuelve la comprensión de la respuesta mecánica del macizo rocoso para determinar la estabilidad y requerimientos de sostenimiento.

2. La roca y su clasificación

Jumikis (1983) define el término roca como un material heterogéneo y anisotrópico que ocurre naturalmente y que está compuesto por granos de variedad policristalina (minerales) o no cristalina (amorfo) cementados entre sí. Los minerales son sustancias inorgánicas que tiene una composición química definida.

Cuadro 4: Minerales más comunes encontrados en las rocas

Minerales	Composición química	Dureza	Color	Otras características
Feldespatos	Aluminosilicato de potasio (feldespato ortoclasa) o sodio y calcio (feldespato plagioclasa) con 3 dimensiones estructurales.	6	Blanco o gris, menos común rosado.	Relativa facilidad a meteorización.
Cuarzo	Sílice, químicamente muy estable.	7		Rompe con fractura concooidal.
Minerales arcillosos	Aluminosilicatos con tamaño de cristales muy pequeños que pueden ser observados con microscopio de baja potencia.	2 - 3	Generalmente blanco, gris o negro.	Pueden aparecer como hojas que dan una característica de clivaje y textura jabonosa.
Micas	Aluminosilicatos de potasio (mica moscovita) o hierro-potasio-magnesio (mica biotita) con estructura en hojas. Minerales relativamente estables.	2 - 3	Moscovita es incolora, la biotita es verde a oscura o café a negro.	Rompe a lo largo de planos paralelos cercanos, formando finas laminillas en meteorización. Moscovita a menudo en lamillas en la superficie de la roca.
Clorita	Químicamente un hidroaluminosilicato de hierro y magnesio.	2 - 2.5	Verde	Débil rompe fácilmente y forma hojuelas.
Calcita	CaCO ₃	3	En menas férricas es roja y café, en menas ferrosos es verde y gris	
Menas de Hierro	Óxidos, hematita (Fe ₂ O ₃); carbonatos; pirita (FeS ₂).	5 - 7	Verde oscuro, café a negro.	
Minerales Ferromagnesianos	Químicamente complejos de aluminosilicatos de calcio y potasio ricos en hierro y magnesio (hornblenda, augita, olivino).			

Fuente: USACE, (1997)

Las rocas, en general, pueden ser clasificadas de acuerdo con varios principios como:

- Clasificación por el origen y génesis
- Clasificación geológica o litológica
- Clasificación ingenieril de la roca, basada en la resistencia de la roca intacta.

a. Clasificación por el origen o génesis

Según el proceso de formación las rocas se dividen en tres grandes grupos: ígneas, sedimentarias y metamórficas, las cuales posteriormente se subdividen según varios criterios.

1). Rocas ígneas (o magmáticas)

Se forman en relación con la solidificación de magmas, ya sea en la superficie terrestre o en su interior. Y se subdividen en:

- Rocas plutónicas (intrusivas)
- Rocas filonianas (hipoabisales)
- Rocas volcánicas (efusivas)

2). Rocas sedimentarias

La clasificación de las rocas sedimentarias está gobernada por el mecanismo de depósito de los sedimentos que determinan finalmente la textura y la estructura final. Las rocas sedimentarias se clasifican en:

- Detríticas (clásticas), se basa en el tamaño de los granos de sus componentes y se subdivide en:
 - Psefitas: diámetro de grano $> 2\text{mm}$
 - Samitas: diámetro de grano $2 - 0,02\text{mm}$
 - Pelitas: diámetro de grano $< 0,02\text{ mm}$
- Químicas
- Organógenas

3). Rocas metamórficas

Son productos del metamorfismo, es decir, del proceso por el cual se producen ciertas modificaciones en la composición mineralógica, y en la estructura de una roca como

consecuencia de los cambios de presión y temperatura que ésta experimenta cuando alcanza niveles profundos de la corteza terrestre.

El grado metamórfico se refiere a la intensidad del metamorfismo que ha influido en una roca: determina la temperatura o la presión máxima del metamorfismo. De acuerdo con la posición geológica se distinguen tres tipos básicos de metamorfismo:

- Metamorfismo de contacto
- Dinamometamorfismo
- Metamorfismo regional

b. Clasificación geológica o litológica

La litología de la roca pertenece a su composición mineralógica y textura así, los términos y la clasificación son geológicos.

c. Clasificación ingenieril

Cuadro 5: Clasificación ingenieril de la roca intacta

Clase	Descripción	Resistencia a la compresión uniaxial		Tipos de roca
		(PSI)	(MPA)	
A	Resistencia muy alta	> 32.000	≈ 220	Cuarzitas, diabasas. Mayoría de rocas ígneas. Ciertas rocas metamórficas. Areniscas frágilmente cementadas. Lutitas resistentes. Mayoría de las calizas. Ciertas dolomitas.
B	Resistencia alta	16.000 - 32.000	≈110 a ≈220	
C	Resistencia media	8.000 - 16.000	55 a ≈110	Algunas lutitas. Areniscas y calizas porosas. Esquistos y rocas metamórficas.
D	Resistencia baja	4.000 - 8.000	28 a ≈55	Rocas porosas de baja densidad. Areniscas deleznales. Tufas y lutitas arcillosas. Rocas meteorizadas y químicamente alteradas de cualquier litología.
E	Resistencia muy baja	< 4.000	< 28	

Fuente: Deere, (1968)

Deere (1968) presentó un sistema de clasificación de las rocas, se basa en una de las propiedades más importantes que es la resistencia a la compresión uniaxial. Este sistema está basado en la resistencia de la roca intacta, valor que se obtiene al enviar las muestras al laboratorio.

3. Características físicas de la masa rocosa

a. Discontinuidades

Son superficies de debilidad que imparten a la roca una condición de anisotropía de resistencia, es decir denota una interrupción en la integridad mecánica de la roca. Para fines descriptivos se utilizará el término genérico, discontinuidad, con el objeto de referirse indistintamente a diaclasas, fallas, foliaciones y estratificaciones, teniendo en cuenta que la resistencia al cizallamiento en estas superficies, siempre es menor que la resistencia de la roca intacta que constituye el macizo (Salsedo, 1988).

1). Fracturas

Es el término general para cualquier discontinuidad mecánica en la roca, tales como diaclasas, fallas, grietas, fisuras.

2). Diaclasas

Es un plano de discontinuidad, de fractura o de separación en una roca que normalmente no implica desplazamiento. Las diaclasas suelen producirse como familias paralelas, que dividen el macizo rocoso en bloques.

La ISRAM (1981) define a una diaclasa de la siguiente manera: “un quiebre o fractura de origen geológico en la continuidad de una roca, a lo largo de la cual no ha habido desplazamiento visible” Un grupo de diaclasas paralelas se denomina set o familia y la intersección de las familias de diaclasas forman sistemas. Las diaclasas paralelas o planos de estratificación, se denominan diaclasas de estratificación o de foliación respectivamente.

Las diaclasas pueden aparecer durante la formación de la roca o posteriormente por causas tectónicas.

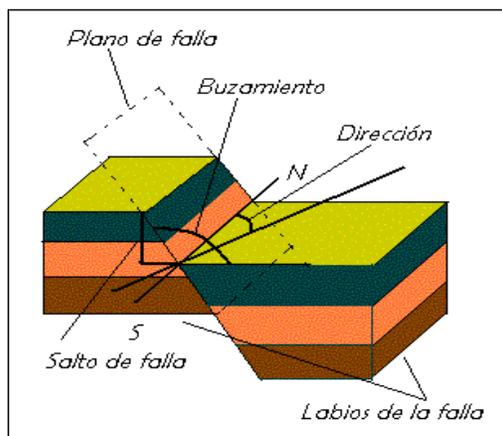
Una familia de diaclasas, de acuerdo con su frecuencia y tamaño, determina el nivel de su importancia, así: diaclasas primarias (más grandes y/o más frecuentes); diaclasas secundarias (menos dominantes). Estos términos se refieren solamente al grado de desarrollo y no son términos relacionados a la génesis.

3). Fallas

En geología, una Falla es una fractura o zona de fracturas a lo largo de la cual ha ocurrido un desplazamiento relativo de los bloques paralelos a la fractura (Bates y Jackson, 1980).

Lo que se observa es que una pared de la fractura se ha movido en relación a la otra. La superficie de fractura en la que se rechazó el desplazamiento se llama plano de falla. Como resultado de la fricción entre bloques, el plano de falla es suavizado y constituye una superficie llamada espejo de falla. (Andrade, 2004, p.33)

Gráfico 11: Elementos de una falla



Fuente: Anónimo

a) Falla normal

Se genera por la tracción con movimientos verticales con respecto al “plano de la falla”, que típicamente tiene un ángulo de 60° respecto a la horizontal, y como hemos visto,

genera un “bloque superior” y un “bloque inferior” donde las rocas de un lado de la falla se hundan respecto a las rocas del otro lado de la falla.

La falla normal se producen en áreas donde la roca se separa, de forma que la corteza en un área específica es capaz de ocupar más espacio y no crean salientes rocosos.

b) Falla inversa

Se generan por compresión. Tiene movimientos horizontales donde el bloque superior se encuentra por encima del bloque inferior y el plano de falla tiene típicamente un ángulo de 30 grados respecto a la horizontal. Ocurre en áreas donde las rocas se comprimen unas contra otras de forma que la corteza rocosa de un área ocupa menos espacio, generando un área expuesta de la falla llamada “saliente”.

c) Falla de desgarre

Se la conoce también como “falla de rumbo” o “falla transformante” tiene un componente horizontal predominante y un pequeño componente vertical. El bloque de roca de un lado se mueve a una dirección, mientras que el bloque opuesto se mueve en dirección opuesta. Se identifican debido a la discontinuidad de un terreno.

Este tipo de fallas se dividen en “dextrales” (movimientos relativos hacia la derecha con respecto al observador) y “sinistrales” (movimientos relativos hacia la izquierda con respecto al observador).

4). Fisuras

Son grietas planares pequeñas. Se considera que tanto las fisuras como los poros de una roca originan respuestas no lineales en el proceso de carga-deformación a bajos niveles de tensiones; asimismo, disminuye la resistencia a la tracción, siendo responsables de la variabilidad y dispersión en resultados de ensayos

5). Estratificación

Es una superficie característica de rocas sedimentarias que separan capas de igual o diferente litología. Estas superficies también pueden estar presentes en rocas que se hayan originado por metamorfismo de rocas sedimentarias.

6). Foliación o esquistosidad

Son superficies penetrativas, desarrolladas por orientación de minerales durante el metamorfismo, perpendiculares a la dirección de la tensión máxima. Es una estructura visible en ciertas rocas metamórficas, en que a la esquistosidad se suma una diferenciación petrográfica entre lechos, formando hojas.

Una roca presenta esquistosidad cuando tiene una estructura en láminas u hojas paralelas, de origen tectónico, que puede corresponder a:

- Esquistosidad de fractura o pliegue de fractura, se produce por una multitud de micro fallas o micro pliegues-falla muy próximos, que superpone a una deformación continua apreciable y que separan láminas sin producir orientaciones de los minerales.
- Esquistosidad de flujo, es un fenómeno debido a un aplastamiento que origina un reajuste de la textura de la roca, con orientación paralela de todos los minerales, planos, recristalizaciones y disoluciones orientadas.
- Foliación, se produce a continuación de la esquistosidad de flujo, cuando aumenta las condiciones de presión y temperatura, alcanzándose el metamorfismo; así se generan minerales metamórficos orientados, cada vez de talla mayor y la roca se convierte en una serie de hojas con diferenciación mineralógica entre cada dos planos. Es subparalela a la estratificación.

7). Zonas de cizalla

Son bandas de material de relleno con bajos niveles de fricción, cuyo espesor puede alcanzar algunos metros y en las que la rotura por cizallamiento ha tomado lugar. Representan zonas de relajación de tensiones a través de roca sana.

8). Contacto litológico

Es una superficie que separa los cuerpos de rocas de diferentes litologías, o tipos de rocas. Un contacto puede ser concordante o discordante, según los tipos de rocas, sus edades relativas y sus disposiciones. Comúnmente forma, por ejemplo la caja techo y caja piso de una veta.

9). Vetillas

Son rellenos de las fracturas con otros materiales como cuarzo o calcita.

b. Pliegues

Son estratos que han estado sujetos a presiones, o a su límite elástico puede alterarse lentamente por arqueamiento y donde la posición de los estratos es cambiada por tensiones de origen tectónico. Dependiendo de la escala, los pliegues pueden ser estructuras principales comparadas con otras de menor escala.

c. Dominio estructural y estructura del macizo rocoso

Dominio estructural es la masa de roca delimitada por discontinuidades geológicas, dentro de la cual, la estructura es prácticamente homogénea.

Estructura del macizo rocoso es el conjunto de fallas, diaclasas, pliegues y demás características geológicas que definen una determinada región, en la que existen una serie de dominios estructurales perfectamente definidos y diferenciados entre sí.

C. PROPIEDADES DE LAS DISCONTINUIDADES

Todas las discontinuidades presentan propiedades geomecánicas importantes que las caracterizan y que influyen en el comportamiento de la masa rocosa. Estas propiedades son principalmente:

1. Orientación

Es la posición de la discontinuidad en el espacio. En geotecnia la tendencia es definir directamente las discontinuidades por la dirección de buzamiento y buzamiento en lugar de rumbo y buzamiento. Así, por ejemplo 200/30 indica que la dirección de buzamiento es 200° y el buzamiento 30°, con tres cifras el primero y dos cifras el segundo.

Cuando un grupo de discontinuidades se presentan con similar orientación o en otras palabras son aproximadamente paralelas, se dice que éstas forman un sistema o una familia de discontinuidades.



Fotografía 1: Medición de la dirección de buzamiento

La orientación de unas discontinuidades con respecto a otras determinará la forma de los bloques. Es conveniente medir un número de orientaciones para definir las diversas familias de diaclasas.

De acuerdo con la orientación de las discontinuidades se determina el grado de estabilidad, tanto en túneles como taludes. Si la orientación es paralela creará mayor inestabilidad dependiendo el buzamiento con respecto a la dirección de avance en los túneles.

2. Espaciado

Es la distancia perpendicular entre discontinuidades de un mismo set o familia, el espaciado de discontinuidades adyacentes determina el tamaño de bloques individuales de roca intacta, la permeabilidad del macizo rocoso y la circulación de agua. Cuanto menos espaciado tengan, los bloques serán más pequeños y cuanto más espaciado tengan, los bloques serán más grandes.



Fotografía 2: Espaciado entre discontinuidades

3. Persistencia

Es la extensión en área o tamaño de una discontinuidad. Cuanto menor sea la persistencia, la masa rocosa será estable y cuanto mayor sea ésta, será menos estable.

Se considera como uno de los parámetros más importantes del macizo rocoso, pero uno de los más difíciles de cuantificar.

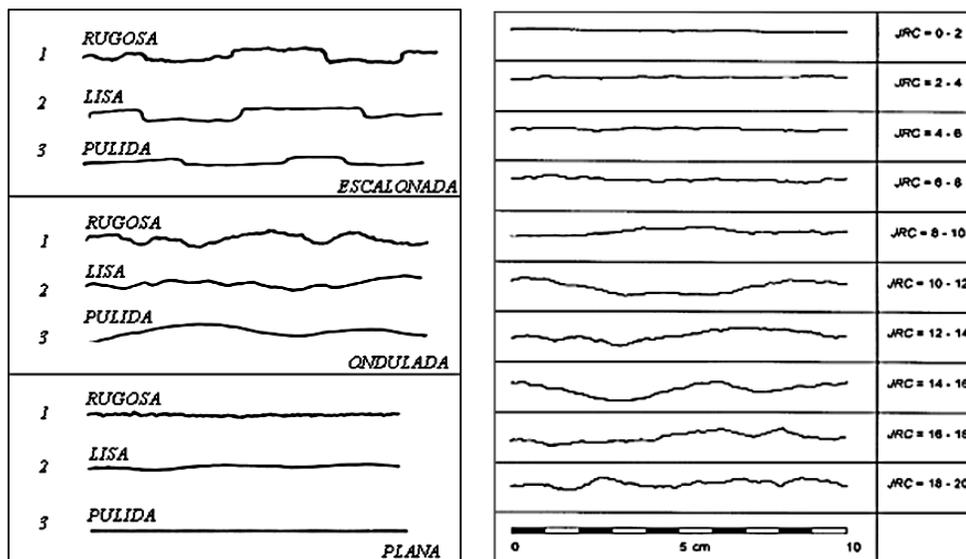


Fotografía 3: Persistencia

4. Rugosidad

Es la aspereza o irregularidad de la superficie de la discontinuidad que determina la resistencia al cizallamiento. Su importancia disminuye al aumentar la abertura, el espesor de relleno o cualquier desplazamiento sufrido con anterioridad.

Gráfico 12: Escala descriptiva y perfil del coeficiente de rugosidad (JRC)



Fuente: Hoek, (1981)

La rugosidad de una discontinuidad viene caracterizada por su ondulación (macro rugosidad) y su aspereza (micro rugosidad). Si los labios o paredes de una discontinuidad están en contacto, provoca una expansión cuando tiene lugar un desplazamiento cortante. La aspereza varía cuando se produce un desplazamiento cizallante al romperse los pequeños los pequeños picos de roca, a menos que la tensión aplicada sea pequeña.

Cuanta menor rugosidad tenga una discontinuidad, la masa rocosa será menos competente y cuanto mayor sea ésta, la masa rocosa será más competente y estable.



Fotografía 4: Rugosidad en las caras de las discontinuidades

5. Apertura

Es la distancia perpendicular que separa las paredes adyacentes de una discontinuidad o el grado de abierto que ésta presenta.

A menor apertura, las condiciones de la masa rocosa serán mejores y a mayor apertura las condiciones serán más desfavorables.

Las aperturas puede ser de tipo: Discontinuidad cerrada, discontinuidad abierta (apertura) y discontinuidad rellena (ancho).



Fotografía 5: Apertura entre las caras de las discontinuidades

6. Relleno

Son los materiales que se encuentran dentro de la discontinuidad. Cuando los materiales son suaves y deleznales, la masa rocosa es menos competente y cuando éstos son más duros, ésta es más competente.



Fotografía 6: Tipo de relleno y su espesor

7. El Flujo de agua.

La circulación de agua en los macizos rocosos se realiza principalmente a lo largo de las discontinuidades (permeabilidad secundaria). En rocas sedimentarias se produce sobre todo por los poros de la roca (permeabilidad primaria).



Fotografía 7: Filtración de agua

8. Resistencia de la pared de la discontinuidad

La resistencia a la compresión de las paredes de la discontinuidad es una componente importante de la resistencia al cizallamiento y deformabilidad, especialmente si las paredes están en contacto roca a roca, sin relleno.

Existen dos procedimientos para caracterizar la resistencia de las paredes de una discontinuidad:

- **Prueba con el martillo de Schmidt:** el índice de Schmidt se determina por el rebote de la masa sobre el punzón que está en contacto con la roca.
- **Pruebas de Índices Manuales:** estas pruebas deben ser realizadas en las paredes de las discontinuidades de acuerdo con las indicaciones de la siguiente tabla:

Cuadro 6: Prueba de Índices manuales

Grado	Descripción	Identificación en campo	Resistencia a la compresión simple (Mpa)
S1	Arcilla muy blanda	Penetra fácilmente varias pulgadas por el puño.	< 0,025
S2	Arcilla blanda	Penetra fácilmente varias pulgadas por el dedo pulgar.	0,025 – 0,05
S3	Arcilla media	Penetra varias pulgadas por el dedo pulgar, usando esfuerzo moderado.	0,05 – 0,10
S4	Arcilla semidura	Deja fácilmente hendidura por la acción del dedo pulgar, pero penetra solamente con gran esfuerzo.	0,10 – 0,25
S5	Arcilla dura	Mellada fácilmente por la uña del pulgar.	0,25 – 0,50
S6	Arcilla muy dura	Mellada con dificultad por la uña del pulgar.	0,50 – 1
R0	Roca extremadamente débil	Mellada por la uña del pulgar.	0,25 – 1
R1	Roca muy débil	Se disgrega por golpes fuertes de la punta de la piqueta; puede ser desconcha por una navaja.	1 – 5
R2	Roca débil	Puede ser desconchada por una navaja, con dificultad.	5 – 25
R3	Roca medianamente resistente	La muestra puede ser fracturada por un golpe fuerte de la punta de la piqueta.	25 - 50
R4	Roca fuerte	La muestra requiere más de un golpe de la piqueta para fracturarla.	50 – 100
R5	Roca muy fuerte	La muestra requiere varios golpes de la piqueta para fracturarla.	100 – 250
R6	Roca extremadamente resistente	La muestra puede ser solamente astillada por la piqueta.	>250

Fuente: AIME, (2004)

Cuadro 7: Resumen de las propiedades de las discontinuidades

Propiedades	Favorable	Desfavorable
Orientación	Si la dirección es perpendicular al eje del túnel y eje del túnel en está en la dirección del buzamiento 45-90°	Cuando la dirección es paralela al eje del túnel y tiene un buzamiento entre 45 a 90°
Espaciado	Entre menor espaciado, los bloques serán más pequeños.	Y entre mayor espaciado los bloques serán más grandes.
Persistencia	Cuanto menor sea la persistencia, el macizo será más estable.	Y cuanto mayor sea la persistencia el macizo será menos estable.
Rugosidad	Cuanta menor rugosidad tenga la discontinuidad la masa rocosa será menos competente.	Y cuanto mayor sea esta la masa rocosa será más competente.
Apertura	Y a mayor apertura las condiciones del macizo serán más desfavorables.	A menor apertura la condición del macizo rocoso será mejor.
Relleno	Si los materiales son suaves la masa rocosa será menos competente.	Si el material es duro, la masa rocosa será más competente.
Flujo	Cuando el macizo presenta goteos o flujos o problemas graves de agua es muy desfavorable.	Si el macizo se encuentra seco, húmedo o ligeramente húmedo es muy favorable.
Resistencia de la pared	Si las paredes se encuentran meteorizadas o con relleno las paredes serán menos resistentes.	Si las caras están sanas la resistencia de la pared será más resistente.

Elaborado por: Martha Tigre (2015)

D. CARACTERIZACIÓN Y DESCRIPCIÓN DE AFLORAMIENTOS

El macizo rocoso está compuesto por bloques de roca intacta separados por discontinuidades, tales como diaclasas, planos de estratificación, pliegues, zonas de cizalla, y fallas. Estos bloques pueden tener diferentes grados de alteración, variando desde inalterados hasta disgregados. (Andrade, 2004, p.35)

1. Grado de meteorización

Las propiedades mecánicas de las rocas pueden ser alteradas y variar de acuerdo con el grado de meteorización debido a los agentes atmosféricos. La meteorización es un proceso de desintegración mecánica o descomposición química que tiene lugar en los minerales y rocas. A su vez, el proceso de meteorización de las rocas es gobernado por la profundidad y exposición de los afloramientos, así el grado de meteorización decrecerá al incrementar la profundidad.

La meteorización desempeña un papel importante en el ciclo de las rocas, normalmente desintegración y descomposición van juntas, porque la rotura física de las rocas facilita el acceso de los materiales químicos que causan la descomposición.

Los procesos de meteorización de una roca dan como resultado minerales de diferentes propiedades y comportamiento distinto, afectando, por ejemplo, su peso específico, densidad seca y su resistencia. Rocas con minerales solubles son susceptibles de disolución y alteración física, con cambios en el nivel freático. Asimismo las fluctuaciones en el nivel freático pueden contribuir a la alteración y cambios periódicos en las propiedades mecánicas.

Cambios con el contenido de humedad pueden originar presiones de expansión peligrosas (rocas con montmorillonita).

El grado de la meteorización dependerá de las condiciones climatológicas, morfológicas y la composición de la masa rocosa.

La meteorización se divide en meteorización física, química y biológica.

- **Meteorización física**, como consecuencia de ésta, la apertura de las discontinuidades aumenta o pueden formarse nuevas fracturas por el relajamiento de la roca.
- **Meteorización química**, origina la decoloración de la roca hasta la descomposición de la misma.
- **Meteorización biológica**, está regida por la presencia y actividad de los seres vivos.

2. Alteración

La alteración de la roca o más propiamente dicha, alteración hidrotermal, se produce por la ascensión de fluidos o gases magmáticos a altas temperaturas a través de fracturas o zonas de falla. Éstos afectan a los rellenos de las zonas de falla y sus cajas, originando reemplazamientos y rellenos, que modifican las condiciones del macizo rocoso en los cuales se emplazan.

Algunos tipos de alteración, como la silicificación y en menor grado la calcificación, mejoran las características de la masa rocosa, incluyendo las zonas de falla. Otros, como la propilitización, disminuyen levemente las condiciones debido a la presencia de cloritas en las paredes de las fracturas. La sericitización y la argilitización (aumento de minerales arcillosos) son las alteraciones más desfavorables para los macizos rocosos donde se emplazan.

E. ANALISIS GEOMECÁNICO DEL MACIZO ROCOSO

1. Análisis de tensiones

Según Hernán Gavilanes J. un correcto conocimiento de los conceptos de fuerza, tensión, deformación y desplazamiento es importante para proporcionar una apreciación de la respuesta mecánica del macizo rocoso frente a cualquier obra ingenieril que modifique su estado inicial. (Gavilanes, 2004, p.49)

El comportamiento de un elemento de roca en la periferia de una excavación está determinado por su capacidad de soportar el efecto combinado de fuerzas internas y de masa.

Así existen tres razones para el estudio de tensiones en el ámbito del análisis geomecánico de macizos rocosos.

- Previo al análisis y diseño del proyecto de ingeniería, existe un estado inicial de tensiones en el terreno que requiere ser conocido e incorporado dentro de las condiciones de contorno.
- Todos los criterios de rotura relacionados a la resistencia de la roca intacta o del macizo rocoso están en términos de tensiones.
- El concepto de tensión es fundamental en los principios que establecen los fundamentos de la mecánica de rocas.

2. Deformación y relaciones tenso-deformacionales

La deformación en la roca significa cualquier cambio en la forma o volumen original, debido al desenvolvimiento de tensiones en su interior o por el apareamiento de tensiones de origen tectónico, por lo que es común es observar pliegues y fallas en diversos afloramientos, o roturas bruscas de roca dentro de excavaciones.

Las rocas pueden deformarse de varias formas:

- Elástica: aquella en la cual al cesar el esfuerzo se recupera la forma: sísmicas.
- Plástica: al cesar el esfuerzo la roca queda deformada: pliegues, esquistos.
- Frágil: la roca se fractura o rompe: fallas y diaclasas.

Para calcular las deformaciones o los desplazamientos de un material, a partir de las tensiones actuantes, es necesario conocer las propiedades del mismo. Generalmente el comportamiento del material puede ser de dos tipos, elástico e inelástico.

Los factores que intervienen en la deformación de la roca son:

- La temperatura, a mayor temperatura la roca es más plástica (vidrio).
- Presión litostática, a mayor profundidad litostática mayor deformación elástica.
- Contenido de agua, La presencia de agua a bajas presiones aumenta la plasticidad de la roca. Arcilla sin agua es frágil y arcilla con agua es plástica.

- Velocidad de la deformación, si la velocidad es lenta y continua la roca se comporta como plástica y si es rápido frágil.
- Composición de la roca, depende del tipo de roca y sus minerales, si tenemos arcillas son plásticas y si se tiene calizas o granitos son frágiles.

Gráfico 13: Deformación de las rocas

Tipo de esfuerzo			Tipo de deformación
Tensión	Compresión	Cizalla	
			
			Dúctil
			Frágil

Fuente: A. Grover. R

3. Estado de tensión de los macizos rocosos

El estado de tensión natural de las rocas (tensiones preexistentes) es perturbado cuando se ejecutan las excavaciones en los túneles. El desenvolvimiento de obra física que altere el estado de tensiones preexistentes inducirá una redistribución de tensiones en la vecindad de la obra. Esta redistribución se traduce en el apareamiento de zonas plastificadas, deformación gradual de paredes y techos de túneles (convergencia) y la rotura o explosión brusca de rocas.

a. Tensiones naturales e inducidas

Las tensiones existentes en los macizos rocosos pueden agruparse en: naturales e inducidas.

- **Las tensiones naturales**, son aquellas encontradas antes de la excavación o en ausencia de cualquier perturbación causada por la ejecución de una obra de ingeniería.
- **Las tensiones inducidas**, se producen antes de la excavación, el macizo rocoso se encuentra en equilibrio bajo la acción de tensiones naturales uniformemente distribuidas. Cuando se excava la roca, ocurre una modificación en el campo de tensiones naturales, surgiendo entonces un campo inducido.

4. Resistencia de los macizos rocosos

Es muy importante conocer bajo qué condiciones de carga el macizo perderá su integridad estructural. Ya que no se puede diseñar y construir túneles sin conocer la resistencia del macizo. Un material tipo elástico se deforma bajo ciertas condiciones de carga, sin embargo toda deformación y toda la energía asociada es recuperada cuando la carga es removida. El comportamiento inelástico se aleja de esta idealización.

El concepto de rotura no es fácil de definir, un leve alejamiento del comportamiento elástico puede no influir en la estabilidad del macizo, mientras que un gran distanciamiento de este comportamiento, en el cual el material pierde la capacidad de carga-sostenimiento puede representar la rotura y posteriormente colapso del túnel.

a. Modos de rotura de la roca

Según (Goodman, 1989), los modos de rotura son:

- Flexión, viene acompañada del desarrollo y propagación de grietas de tracción y se puede observar en los techos del túnel, dispuestos en terrenos horizontalmente estratificados.
- Cizallamiento, se refiere a la formación de una superficie de falla, donde las tensiones cizallantes han llegado a ser críticas, superando la resistencia de material.

- Tracción directa; ocasionalmente se origina en capas de roca dispuestas en superficies de taludes ascendentes y convexas, y en rocas sedimentarias en el flanco de un anticlinal.
- Compresión, se produce en pilares que han sido sobre explotados y cuyo mecanismo de rotura se manifiesta por la formación, unión y propagación de grietas.

5. Ensayos de laboratorio

Son muy importantes para caracterizar el comportamiento mecánico de la roca. Así como es muy importante tener en cuenta los significados de rotura y resistencia, ya que el termino rotura connota una casi total pérdida de la integridad en una muestra de roca, y en el contexto ingenieril, implica la pérdida de la capacidad de carga para llevar a cabo una función planificada, mientras que el termino de resistencia se refiere a la máxima capacidad de carga portante.

Las muestras de roca fueron analizadas en el laboratorio de la Escuela Politécnica Nacional de Quito en el año 2001 y en el 2013, solicitado por ASTEC.



Fotografía 8: Muestras de laboratorio

Cuadro 8: Ensayo de Compresión Simple en Esquistos

Litología:	Esquistos micáceos	<u>MUESTRA ANTES DE ENSAYO</u> 
Muestra:	Caja 19	
Profundidad (m):	184,70 – 185,00	<u>MUESTRA LUEGO DE ENSAYO</u> 
Diámetro (cm):	4,73	
Área (cm ²):	17,57	
Carga máxima (Kg):	5037	
Esfuerzo máximo a la compresión (kg/cm ²):	286,66	
Tipo de falla:	Plano inclinado	
Defectos:	Porosa	
Altura (cm):	9,42	
Relación h/d:	1,99	
Factor de corrección:	1,00	
Esfuerzo a Compresión Corregido (kg/cm ²)	286,66	
Condiciones de humedad:	Natural	
Peso de la muestra (gr):	374,50	
Peso específico (gr/cm ³):	2,26	

Fuente: Laboratorio de mecánica de suelos y ensayo de materiales (Escuela Politécnica Nacional)

Cuadro 9: Ensayo de Compresión Simple en Lavas

Litología:	Lavas basálticas	<u>MUESTRA ANTES DE ENSAYO</u> 
Muestra:	Caja 4	
Profundidad (m):	12,67 – 13,00	<u>MUESTRA LUEGO DE ENSAYO</u> 
Diámetro (cm)	6,30	
Área (cm ²):	31,17	
Carga máxima (kg):	14282	
Esfuerzo máximo a la compresión (kg/cm ²):	458,16	
Tipo de falla:	Vertical	
Defectos:	Porosa	
Altura (cm):	12,60	
Relación h/d:	2,00	
Factor de corrección:	1,00	
Esfuerzo a Compresión Corregido (kg/cm ²):	458,16	
Condiciones de humedad:	Natural	
Peso de la muestra (gr):	947,20	
Peso específico (gr/cm ³):	2,41	

Fuente: Laboratorio de mecánica de suelos y ensayo de materiales (Escuela Politécnica Nacional)

Cuadro 10: Estimaciones de campo de la resistencia a la compresión uniaxial

Grado	Término	Resistencia a la compresión uniaxial (MPa)	Índice de carga puntual (MPa)	Estimación en campo de la resistencia	Ejemplos
R6	Extremadamente resistentes	>250	>10	El espécimen puede ser únicamente picado con martillo geológico.	Basalto fresco, gneis, granito, cuarcita.
R5	Muy resistente	100-250	4-10	El espécimen requiere algunos golpes de martillo geológico para ser fracturado.	Anfibolita, arenisca, basalto, gabro, gneis, granodiorita, caliza, mármol, riolita, toba.
R4	Resistente	50-100	2-4	El espécimen requiere más de un golpe de martillo geológico para ser fracturado.	Caliza, mármol, filita, arenisca, lutita.
R3	Medianamente resistente	25-50	1-2	El espécimen no puede ser raspado o mondado con una navaja de bolsillo, pudiendo ser fracturado con un simple golpe de martillo.	Arcilla, carbón, esquisto, lutita, limolita, concreto.
R2	Débil	5-25	**	Puede ser mondado con dificultad con una navaja de bolsillo, un rasgo superficial puede ser hecho con un firme golpe del martillo.	Creta, sal de roca y potasa.
R1	Muy débil	1-5	**	El espécimen se desmenuza bajo la acción de firmes golpes de martillo geológico y puede ser mondado por una navaja de bolsillo.	Roca altamente meteorizada o alterada.
R0	Extremadamente débil	0,25-1	**	Hendida por la uña.	Relleno rígido de falla.

Fuente: Marinos y Hoek, (2000)

Peso específico: el análisis realizado fue en esquistos con una valor de (2.9 g/cm³) y lavas volcánicas con un valor de (2.7 g/cm³).

Porosidad: la porosidad de los testigos, reportada como la proporción entre el volumen de los huecos sobre el volumen de sólido. En esquistos con promedio alrededor de 1%, debido a la textura de la roca. Las escorias muestran valor promedio de 10% casi el doble de las lavas (5%). Estas dos últimas presentan una dispersión elevada, con una variabilidad de 0.6%-28.7% por Q3l y 1.6%-17.6% por Q3e, que es debida a la presencia de vesículas.

F. INTRODUCCIÓN A LA CLASIFICACIÓN GEOMECÁNICA

Las clasificaciones geomecánicas determinan la sistemática del diseño empírico en la Ingeniería de Rocas y relaciona la experiencia práctica ganada en diferentes proyectos con las condiciones existentes en determinado sitio.

El propósito de la clasificación es proporcionar un índice numérico que nos indique la calidad del macizo rocoso, para luego recomendar el sostenimiento más adecuado.

El objetivo de las clasificaciones geomecánicas es evaluar las propiedades de un macizo rocoso, establecer su calidad cuantitativamente y poder predecir de alguna manera lo siguiente:

- El comportamiento del macizo frente a la excavación programada
- El tipo de sostenimiento
- Y obtener de manera aproximada el rango de variación de las propiedades geotécnicas del macizo rocoso como su ángulo de fricción interna y la cohesión.

(Andrade, 2004, p.63)

1. Clasificación geomecánica de los macizos rocosos.

Con el objetivo de asegurar satisfactoriamente la estabilidad en los túneles y cavernas, a menudo es necesario una gran cantidad de soporte dependiendo de la calidad del macizo rocoso. La cantidad y tipo de soporte depende de la calidad de la roca, las dimensiones del túnel y los requerimientos de seguridad.

Por medio del estudio y la clasificación del macizo rocoso, un ingeniero geólogo experimentado sabrá determinar la calidad del macizo rocoso y que clase de soporte corresponderá. Para tales evaluaciones y como documentación, es necesario el mapeo geológico-geotécnico de la obra subterránea. Este consistirá de un mapeo geológico general y una descripción específica de la estabilidad. Para la descripción de la estabilidad es necesario utilizar un método de clasificación. Además será de gran ayuda un sistema de clasificación para la valoración del diseño del soporte.

Estas clasificaciones son una herramienta muy útil y necesaria para la descripción de masas rocosas y puede ser usado como guía en la decisión del diseño de soporte de roca. El método puede ser usado durante el período de construcción, así como también es necesario durante la planificación de una obra subterránea para el mapeo de campo y registro de perforación.

G. MÉTODOS DE CLASIFICACIÓN DE MACIZOS ROCOSOS

Existen diferentes criterios, que provienen de expertos de indiscutible trayectoria en excavaciones subterráneas, y dieron como resultante una serie de métodos de evaluación y valoración, estos métodos son:

1. Métodos cualitativos

a. Clasificación de Terzagui (1946)

Terzaghi fué quien propuso la primera clasificación descriptiva del macizo rocoso orientada a la construcción de túneles. Sus datos provenían de túneles sostenidos fundamentalmente por cerchas metálicas.

Terzaghi clasifica el terreno en diez categorías y proporciona la “carga de roca” o tensión vertical que soportaría las cerchas de sostenimiento de un túnel construido por procedimientos tradicionales. La clasificación original fue modificada por Deere et al (1970)

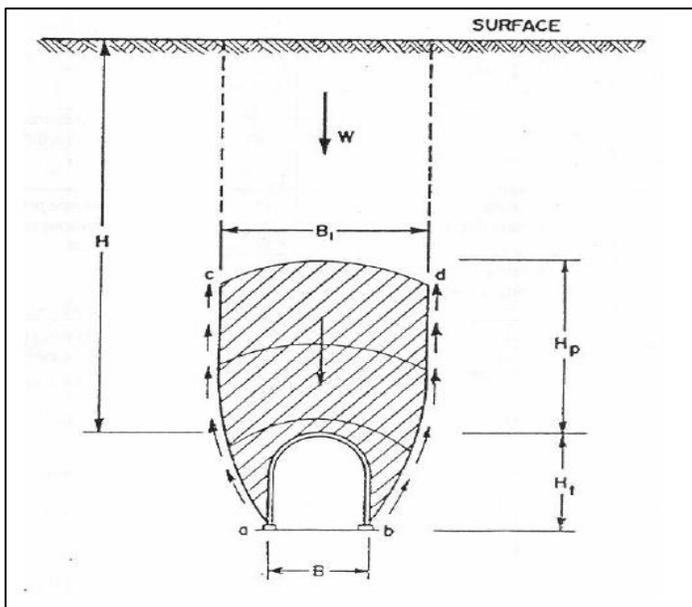
- 1). Roca dura e intacta.
- 2). Roca dura estratificada o esquistosa.
- 3). Roca masiva moderadamente fisurada.
- 4). Roca moderadamente fragmentada y fisurada.
- 5). Roca muy fracturada y fisurada (triturada).
- 6). Roca completamente fracturada (descompuesta).
- 7). Grava y arena.

- 8). Suelo cohesivo con una profundidad moderada.
- 9). Suelo cohesivo, profundidad grande.
- 10). Roca o suelo expansivo. Minerales arcillosos (montmorillonita).

Los conceptos de Terzaghi en relación con el comportamiento del terreno están sintetizados en la siguiente figura.

Dónde: B es el ancho del túnel; $C = B + H_t =$ ancho del túnel.

Gráfico 14: Esquema para la clasificación de Terzaghi



Fuente: Terzaghi

b. Clasificación de Lauffer (1958)

Estudio en forma sistemática, el tiempo que permanecían estables las excavaciones subterráneas de determinadas dimensiones en diferentes tipos de roca.

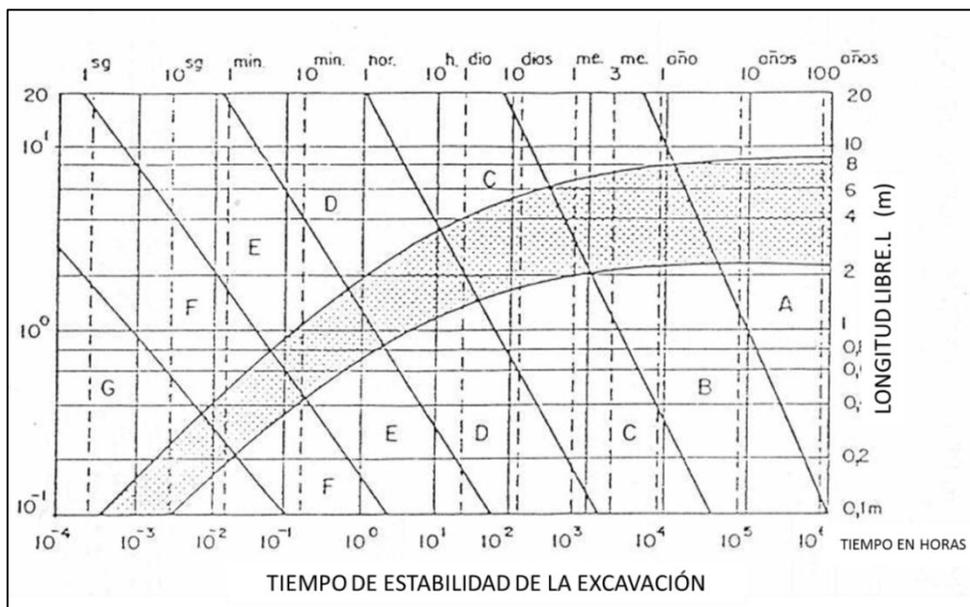
Para usarla, se debe definir:

1. Longitud libre: Es la menor dimensión sin revestimiento, entre el diámetro o profundidad abierta.
2. Tiempo de estabilidad: Tiempo que dura sin desmoronarse, la longitud libre.

La clasificación se realiza de la siguiente manera:

- Clase A: Roca estable
- Clase B: Roca inestable a largo plazo
- Clase C: Roca inestable a corto plazo
- Clase D: Roca triturada
- Clase E: Roca muy triturada
- Clase F: Roca compresible
- Clase G: Roca muy compresible

Gráfico 15: Relación entre luz libre y tiempo de estabilidad



Fuente: Lauffer

2. Métodos cuali/cuantitativos

a. **Clasificación Deere (1945).**

La clasificación de Deere o del RQD se funda en la cuantificación del grado de fractura de la roca.

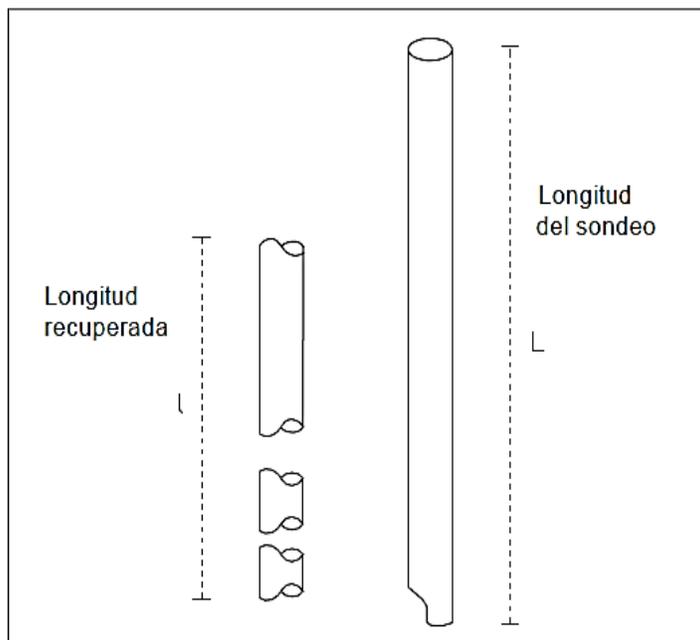
$$\text{RQD} = \text{ROCK QUALITY DESIGNATION}$$

Permite la obtención de un índice, que es un valor cuantitativo que representa la calidad del macizo rocoso, teniendo en cuenta las características del testigo recuperado en una perforación. La condición para ser contabilizadas es que éstas tengan una longitud mayor que 0,1 m.

La fórmula a aplicar es:

$$\text{RQD} = \frac{\text{Longitud recuperada en piezas } \geq 0,1 \text{ m} \times 100}{\text{Longitud del sondeo}}$$

Gráfico 16: Representación del RQD



Fuente: Deere, (1945).

Dónde: l = Longitud recuperada (en metros)

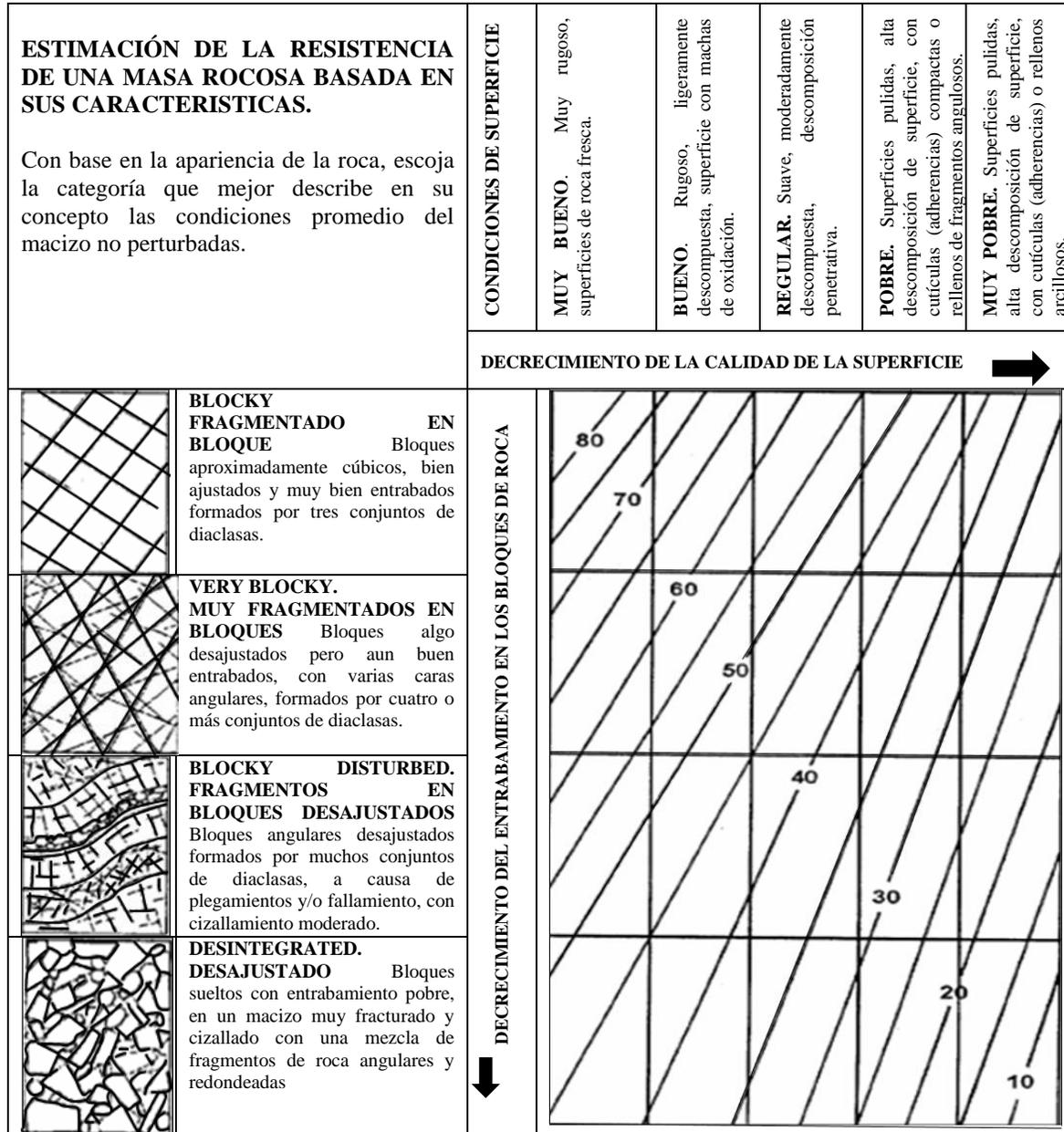
L = Longitud del sondeo (en metros)

b. Clasificación de Hoek y Brown (GSI)

Hoek et al, (1995) han propuesto un índice geológico de resistencia, GSI (geological strength index), que evalúa la calidad del macizo rocoso en función del grado y las

características de la fracturación, estructura geológica, tamaño de bloques y alteración de las discontinuidades.

Gráfico 17: Índice Geológico de Resistencia (G.S.I) propuesto por Hoek



Fuente: Hoek, (1995).

c. Clasificación geomecánica de Romana Slope Mass Rating (SMR)

El índice SMR para la clasificación de taludes se obtiene del índice RMR básico, restando un “factor de ajuste” que es en función de la orientación de las discontinuidades (y producto de tres subfactores) y sumando un “factor de excavación” que depende del método utilizado. El rango del RMR es 0 – 100.

$$SMR = RMR \text{ básico} + (F1 * F2 * F3) + F4$$

RMR se calcula de acuerdo con los coeficientes de Bieniawski (1989), como la suma de las variaciones correspondientes a 5 parámetros:

- 1). Resistencia a compresión simple de la matriz rocosa
- 2). RQD
- 3). Separación de las discontinuidades
- 4). Condición de las discontinuidades
- 5). Flujo de agua en las discontinuidades.

d. Clasificación Geomecánica Rock Mass Rating (RMR)

Desarrollada por Bieniawski, (1989) constituye un sistema de clasificación de macizos rocosos que permite a su vez relacionar índices de calidad con parámetros de diseño y de sostenimiento de túneles. El parámetro que define la clasificación es el RMR, que indica la calidad del macizo rocoso en cada dominio estructural a partir de los cinco parámetros: resistencia a la roca intacta, RQD, espaciamiento de las discontinuidades, condición de las discontinuidades y agua subterránea.

e. Sistema Índice Q

Desarrollado por Barton, Lien y Lunde en 1974, es uno de los sistemas de clasificación más utilizados y mejor documentados, constituye un sistema de clasificación de macizos rocosos que permiten establecer sistemas de sostenimiento para túneles y cavernas. El sistema Q está basado en la evaluación numérica de los siguientes seis parámetros que

definen el índice Q, estos parámetros son: RQD, Índice de diaclasado (J_n), índice de rugosidad, relleno y continuidad de las discontinuidades (J_r), índice de alteración (J_a), coeficiente reductor por la presencia de agua (J_w) y el coeficiente del estado tensional sobre el macizo rocoso (SRF).

H. MÉTODOS UTILIZADOS EN LA CLASIFICACIÓN DEL MACIZO ROCOSO EN TÚNEL PAPALLACTA

1. Clasificación Geomecánica RMR

Desarrollada por (Bieniawski, 1989) constituye un sistema de clasificación de macizos rocosos que permite a su vez relacionar índices de calidad con parámetros de diseño y de sostenimiento de túneles.

El parámetro que define la clasificación es el denominado RMR (ROCK MASS RATING), que indica la calidad del macizo rocoso en cada dominio estructural a partir de los siguientes parámetros:

a. Resistencia a la comprensión simple de la matriz rocosa.

Cuadro 11: Resistencia de la roca

Descripción	Resistencia a comprensión simple (Mpa)	Ensayo de carga puntual (Mpa)	Valoración
Extremadamente dura	> 250	> 10	15
Muy dura	100 - 250	4 - 10	12
Dura	50 - 100	2 - 4	7
Moderadamente dura	25 - 50	1 - 2	4
Blanda muy blanda	5 - 25	< 1	2
	1 - 5		1
	<1		0

Fuente: Bieniawski

b. R.Q.D. Grado de fracturación del macizo rocoso.

La calidad de la roca R.Q.D se puede determinar:

- Trozos de rocas testigos mayores de 10cm recuperados en sondeos.

$$RQD = \frac{\sum(\text{ripios} > 10\text{cm})}{\text{Total de la perforación}}$$

- Número total de discontinuidades que interceptan una unidad de volumen (1m³) del macizo rocoso, definido mediante el parámetro Jv.

$$RQD = 115 - 3,3.Jv$$

El valor obtenido de las siguientes formulas son comparadas con la siguiente tabla:

Cuadro 12: RQD

Índice de Calidad R.Q.D (%)	Calidad	Valoración
0 - 25	Muy mala	3
25 - 50	Mala	8
50 - 75	Regular	13
75 - 90	Buena	17
90 - 100	Excelente	20

Fuente: Bieniawski

c. Espaciamiento o separación de las discontinuidades.

Cuadro 13: Espaciado entre las discontinuidades

Descripción	Espaciado de las Juntas	Tipo de macizo rocoso	Valoración
Muy ancho	> 2 m	Sólido	20
Ancho	0,6 - 2 m	Masivo	15
Moderadamente cerrado	200 - 600 mm	En bloques	10
Cerrado	60 - 200 mm	Fracturado	8
Muy cerrado	< 60 mm	Machacado	5

Fuente: Bieniawski

d. Condiciones de las discontinuidades.

Dentro de las condiciones de las discontinuidades se consideran los siguientes parámetros como: persistencia, abertura, rugosidad, relleno y alteración que se describen a continuación.

Cuadro 14: Condición de las discontinuidades

CONTINUIDAD O PERSISTENCIA DE LAS DISCONTINUIDADES			
Grado	Descripción	Continuidad	Valoración
1	Muy pequeña	< 1 m	6
2	Pequeña	1 - 3 m	4
3	Media	3 - 10 m	2
4	Alta	10 - 20 m	1
5	Muy alta	> 20 m	0
ABERTURA DE LAS DISCONTINUIDADES			
Grado	Descripción	Separación de caras	Valoración
1	Abierta	> 5mm	0
2	Moderadamente abierta	1 - 5 mm	1
3	Cerrada	0,1 - 1 mm	4
4	Muy cerrada	< 0,1 mm	5
5	Ninguna	0	6
RUGOSIDAD DE LAS DISCONTINUIDADES			
Grado	Descripción		Valoración
1	Muy rugosa		6
2	Rugosa		5
3	Levemente rugosa		3
4	Lisa		1
5	Agrietada		0
RELLENO DE LAS DISCONTINUIDADES			
Grado	Descripción		Valoración
1	Blando > 5mm		0
2	Blando < 5mm		2
3	Duro > 5mm		2
4	Duro < 5 mm		4
5	Ninguno		6
ALTERACIÓN DE LAS DISCONTINUIDADES			
Grado	Descripción		Valoración
1	Extremadamente descompuesto		0
2	Muy descompuesto		1
3	Moderadamente descompuesto		3
4	Levemente descompuesto		5
5	Sana		6

e. La presencia de agua en el macizo rocoso.

Para calcular la valoración según la presencia del agua se toma como referencia la siguiente tabla.

Cuadro 15: Presencia de agua subterránea

Caudal por 10 m de túnel	Relación Presión agua-Tensión ppal. mayor	Descripción	Valoración
Nulo	0	Completamente seco	15
< 10 litros/min	< 0,1	Húmedo	10
10 - 25 l/min	0,1 - 0,2	Mojado	7
25 - 125 l/min	0,2 - 0,5	Agua bajo presión moderada	4
> 125 l/min	> 0,5	Problemas graves de agua	0

Fuente: Bieniawski

f. Orientación de las discontinuidades

Para la valoración de este parámetro se debe clasificar la roca de acuerdo al rumbo y buzamiento con respecto al eje del túnel que se está ejecutando.

Cuadro 16: Orientación de las discontinuidades

		Dirección perpendicular al eje del túnel				
		Eje del túnel en la dirección del Buz		Eje del túnel contra el buz.		
		Buz 45-90	Buz 20-45	Buz 45-90	Buz 20 - 45	
		Muy favorable	Favorable	Aceptable	Muy desfavorable	
Orientación de las discontinuidades		Dirección paralela al eje del túnel				
				Buz 20-45	Buz 45 - 90	
				Aceptable	Muy desfavorable	
		Cualquier que sea la dirección				
				Buz 0 - 20		
		Aceptable				
	Túnel	0	-2	-5	-10	-12
Peso	Cementación	0	-2	-7	-15	-25
	Pendiente	0	-5	-25	-50	-60

Fuente: Bieniawski

Para obtener el Índice RMR de Bieniawski se realiza lo siguiente:

- Se suma las 5 variables o parámetros calculados, eso da como resultado un valor índice (RMR básico)
- El parámetro 6 que se refiere a la orientación de las discontinuidades respecto a la excavación.

El valor del RMR varía entre 0 a 100, y se obtienen cinco clases de macizos rocosos de acuerdo al puntaje obtenido de la calificación.

Cuadro 17: Clases de macizos

Clase	Calidad	Valoración	Tiempo de resistencia sin soporte	Cohesión	Angulo de rozamiento
I	Muy bueno	100 - 81	10 años para una luz de 15m	> 4 Kg/cm ²	> 45°
II	Bueno	80 - 61	6 meses para una luz de 8m	3 - 4 Kg/cm ²	35° - 45°
III	Regular	60 - 41	1 semana para una luz de 5m	2 - 3 Kg/cm ²	25° - 35°
IV	Pobre	40 - 21	10 horas para una luz de 2,5m	1 - 2 Kg/cm ²	15° - 25°
V	Muy pobre	< 20	30 minutos para una luz de 1m	< 1 Kg/cm ²	< 15°

Fuente: Bieniawski

El Soporte recomendado por Bieniawski, para túneles de sección de tipo herradura con luz de 10 m es el siguiente.

Cuadro 18: Soporte recomendado por Bieniawski

Class No	I	II	III	IV
Soporte de la roca	Unos anclajes	Localmente anclajes en la bóveda, espaciamiento 2- 2.5m, longitud 3m. +5cm de hormigón lanzado en bóveda posiblemente con malla soldada	Anclajes en bóveda y paredes, espaciamiento 1.5 - 2 m, longitud 4m + 5- 10cm de hormigón lanzado en la bóveda y 3cm en las paredes, con malla soldada en bóveda.	Anclajes en bóveda y paredes, espaciamiento 1-1,5m, longitud 4- 5cm de hormigón lanzado en la bóveda y 10cm en las paredes, con malla soldada + unas cerchas livianas donde se necesitan.

Fuente: Bieniawski

Cuadro 19: Clasificación Geológica-Geotécnica con los parámetros de Bieniawski

PROYECTO HIDROELECTRICO QUIJOS																		
RESUMEN DE LA CLASIFICACION GEOLOGICA-GEOTECNICA DE LOS TÚNELES																		
TUNEL:	TÚNEL_PAPALLACTA_VI			CLASIFICACIÓN:			Bieniawski					REALIZADO POR:		Martha Tigre			MES:	JUNIO 2015
FECHA	ABSCISA		AVANCE (m)	PARÁMETROS DE CLASIFICACIÓN									RMR BASICO	AJUSTE	RMR AJUSTADO	ROCA TIPO	OBSERVACIONES	
	Hasta	Desde		Resist.	RQD	Esp.	Condición de las discontinuidades					Agua						
							Pers.	Aber.	Rug.	Rell.	Met.							
25-jun		2+384,80															Abs. 2+384,80 Cierre de mes en Junio.	
24-jun	2+384,80	2+386,70	1,90	4	8	8,0	2,0	0,0	3,0	0,0	5	10	40,00	12,00	28,00	IV		
23-jun	2+386,70	2+389,00	2,30	4	8	8,0	2,0	0,0	3,0	0,0	5	10	40,00	12,00	28,00	IV		
22-jun	2+389,00	2+391,30	2,30	4	8	8,0	2,0	0,0	3,0	0,0	3	10	38,00	12,00	26,00	IV		
21-jun	2+391,30	2+394,20	2,90	7	8	8,0	2,0	1,0	3,0	0,0	3	10	42,00	12,00	30,00	IV		
20-jun	2+394,20	2+395,50	1,30	7	8	8,0	2,0	0,0	3,0	0,0	3	10	41,00	12,00	29,00	IV		
19-jun	2+395,50	2+397,60	2,10	7	8	8,0	2,0	1,0	3,0	0,0	3	10	42,00	10,00	32,00	IV		
17-jun	2+397,60	2+400,20	2,60	7	13	8,0	2,0	1,0	3,0	0,0	3	10	47,00	12,00	35,00	IV		
16-jun	2+400,20	2+402,50	2,30	7	13	8,0	2,0	1,0	3,0	0,0	3	10	47,00	12,00	35,00	IV		
15-jun	2+402,50	2+403,70	1,20	7	13	10,0	2,0	1,0	3,0	0,0	3	10	49,00	12,00	37,00	IV		
14-jun	2+403,70	2+405,60	1,90	7	8	8,0	2,0	0,0	3,0	0,0	3	10	41,00	12,00	29,00	IV		
12-jun	2+405,60	2+407,90	2,30	7	8	8,0	2,0	0,0	3,0	0,0	3	10	41,00	12,00	29,00	IV		
11-jun	2+407,90	2+412,50	4,60	4	8	8,0	2,0	1,0	3,0	0,0	1	10	37,00	10,00	27,00	IV		
10-jun	2+412,50	2+414,80	2,30	4	8	8,0	2,0	0,0	0,0	0,0	1	10	33,00	5,00	28,00	IV		
08-jun	2+414,80	2+416,80	2,00	4	8	8,0	2,0	0,0	0,0	0,0	1	15	38,00	10,00	28,00	IV		
07-jun	2+416,80	2+419,00	2,20	4	8	8,0	2,0	0,0	3,0	0,0	1	15	41,00	10,00	31,00	IV		
06-jun	2+419,00	2+421,40	2,40	4	8	8,0	2,0	0,0	3,0	0,0	1	15	41,00	10,00	31,00	IV		
05-jun	2+421,40	2+423,10	1,70	4	8	8,0	2,0	0,0	1,0	0,0	1	15	39,00	10,00	29,00	IV		
04-jun	2+423,10	2+425,60	2,50	4	8	8,0	2,0	0,0	1,0	0,0	1	15	39,00	10,00	29,00	IV		
03-jun	2+425,60	2+428,00	2,40	4	8	8,0	2,0	0,0	1,0	0,0	1	10	34,00	10,00	24,00	IV		
02-jun	2+428,00	2+430,30	2,30	4	3	8,0	2,0	0,0	3,0	0,0	1	10	31,00	12,00	19,00	V		
01-jun	2+430,30	2+432,80	2,50	4	3	8,0	2,0	0,0	0,0	1,0	1	10	29,00	12,00	17,00	V		
31-may	2+432,80	2+434,80	2,00	4	3	8,0	2,0	0,0	0,0	1,0	1	10	29,00	12,00	17,00	V		
30-may	2+434,80	2+437,00	2,20	4	3	8,0	2,0	0,0	0,0	0,0	1	10	28,00	12,00	16,00	V		
29-may	2+437,00	2+439,30	2,30	4	3	8,0	2,0	0,0	3,0	0,0	1	10	31,00	12,00	19,00	V		
27-may	2+439,30	2+441,80	2,50	4	3	5,0	2,0	0,0	3,0	0,0	3	10	30,00	12,00	18,00	V		
26-may	2+441,80	2+444,60	2,80	4	3	5,0	2,0	0,0	3,0	0,0	3	10	30,00	12,00	18,00	V		
25-may	2+444,60																Abs. 2+444,60 Cierre de mes en Mayo.	
			59,80															

Elaborado por: Martha Tigre

2. Sistema Q

Desarrollado por Barton, Lien & Lunde, (1974), es uno de los sistemas de clasificación más utilizados y mejor documentados, constituye un sistema de clasificación de macizos rocosos que permiten establecer sistemas de sostenimiento para túneles y cavernas. Puede ser usado durante el período de construcción, pero también es útil durante la planificación de una obra subterránea. El sistema Q está basado en la evaluación numérica de seis parámetros que se determinan en los mapeos geológicos de túneles, mapeos de campo y registros de perforación que definen el índice Q. Un alto valor de Q significa buena estabilidad, mientras que bajos valores indican pobre estabilidad.

Este valor da una descripción de la calidad de la roca la cual puede ser relacionada para diferentes tipos de soporte permanentes. Esto significa que a partir del cálculo del valor Q, es fácil encontrar que clase de soporte ha sido usado anteriormente en macizos rocosos de la misma calidad.

Este índice viene dado por la siguiente expresión.

$$Q = \frac{RQD}{J_n} * \frac{J_r}{J_a} * \frac{J_w}{SRF}$$

Dónde:

R.Q.D = Índice de calidad de la roca (entre 0 y 100).

J_n = Índice de diaclasado que indica el grado de fracturación (entre 0,5 y 20).

J_r = Índice de rugosidad, relleno y continuidad de las discontinuidades (entre 0,5 y 4).

J_a = Índice de alteración de las discontinuidades (0,75 y 20).

J_w = Coeficiente reductor por la presencia de agua (0,5 y 1).

SRF = (Stress reduction factor) coeficiente que tiene en cuenta la influencia del estado tensional sobre el macizo rocoso (0,5 y 20).

Los parámetros individuales son determinados durante el mapeo geológico mediante tablas que dan un valor numérico el cual es asignado por medio de un método descriptivo. Dispuestos en pares, los 6 parámetros expresan los tres principales factores que deciden la estabilidad del macizo rocoso.

a. El grado de diaclasamiento (tamaño de los bloques).

Está determinado por el modelo de las diaclasas, es decir, orientación y espaciamiento de las diaclasas. En ciertos sitios los modelos de diaclasas serán más o menos bien definidos. Generalmente existen 2–4 direcciones de diaclasas sistemáticas y la mayoría de las diaclasas serán paralelas con una de estas direcciones. La pérdida de estabilidad se dará generalmente cuando el espaciamiento de las diaclasas decrece y el número de sistemas de diaclasas se incremente.

$$\frac{RQD}{J_n} = \text{Grado de diaclasamiento}$$

b. Fricción de las diaclasas.

En rocas duras la deformación ocurrirá como un desplazamiento de cizalla a lo largo de las diaclasas. La fricción de diaclasas es dependiente de la rugosidad, espesor y tipo de relleno. Diaclasas muy rugosas, que pueden tener relleno delgado o no, rellenos con minerales duros serán favorables para la estabilidad. Las paredes lisas, espesores de relleno gruesos de mineral suave resultarán en baja fricción y por ende en estabilidad pobre.

$$\frac{J_r}{J_a} = \text{Fricción de las diaclasas (Resistencia al corte entre bloques)}$$

c. Esfuerzo.

La situación del esfuerzo en un macizo rocoso será usualmente dependiente de la profundidad bajo la superficie; sin embargo, en algunos sitios el esfuerzo puramente tectónico puede ser más influyente. La estabilidad será generalmente dependiente del tamaño del esfuerzo en relación a la resistencia a la roca. Esfuerzos moderados son

usualmente los más favorables para estabilidad. En macizos rocosos interceptados por zonas de diaclasas rellenas con minerales débiles o suaves tales como arcilla o roca molida, la situación del esfuerzo puede variar considerablemente dentro de áreas relativamente pequeñas.

$$\frac{J_w}{SRF} = \text{Esfuerzo activo}$$

Dentro del mapeo geológico es necesario dividir el área en algunas sub-áreas, esto hace que el valor de Q dentro de cada sub-área refleje las condiciones para esa área.

Cuadro 20: Valoración de la roca de acuerdo con el Índice de Calidad Q

TIPO DE ROCA	Valores de Q
Excepcionalmente mala	$10^{-3} - 10^{-2}$
Extremadamente mala	$10^{-2} - 10^{-1}$
Muy mala	$10^{-1} - 1$
Mala	1 - 4
Media	4 - 10
Buena	10 - 40
Muy buena	40 - 100
Extremadamente buena	100 - 400
Excepcionalmente buena	400 - 1000

Fuente: Barton, (1974)

1). RQD (Designación de Calidad de Roca)

El RQD fue definido por Deere (1945) como un sistema simple de clasificación. La suma de las longitudes de todos los pedazos del testigo mayores que 10 cm de largo, expresado como un porcentaje de la longitud del testigo total. El RQD será por lo tanto un número entre 0 y 100.

Cuadro 21: Designación de la calidad de roca

RQD (Designación de Calidad de Roca)		
A	Muy pobre	(>27 diaclasas por m ³)
B	Pobre	(20-27 diaclasas por m ³)
C	Regular	(13-19 diaclasas por m ³)
D	Buena	(8-12 diaclasas por m ³)
E	Excelente	(0-7 diaclasas por m ³)
1) Intervalos de RQD de 5, por ejemplo 100, 95, 90, etc., son suficientemente exactos		

Fuente: Barton

El valor de Q también puede ser calculado en base al número de diaclasas por m³. La siguiente fórmula puede ser usada (Palmström, 1975).

$$RQD = 115 - 3.3 JV$$

Dónde: JV es el número de diaclasas por m³.

En un túnel es posible conseguir una vista tridimensional de la masa de roca y se puede estimar con bastante exactitud el número de diaclasas por m³, todos los tipos de fracturas pueden ser considerados en el cálculo del RQD. La identificación de cuales son diaclasas naturales y cuales fracturas artificiales se debe realizar siempre.

2). Jn (Número de familias de juntas)

La forma y tamaño de los bloques en una masa de roca depende de la geometría de las fracturas. En un lugar dado habrá como regla general pocas direcciones de diaclasas ocurriendo sistemáticamente, usualmente 2 - 4. La mayoría de las juntas serán más o menos paralelas a una de las direcciones principales, y tales juntas paralelas son llamadas una familia de juntas. Las diferentes direcciones de juntas resaltarán como concentraciones en el estereograma.

Cuadro 22: Número de familias de discontinuidades

Número de Familias de Diaclasas		Jn
A	Masiva, pocas o sin juntas	0.5 - 1.0
B	Una familia de juntas	2
C	Una familia de juntas más una aleatoria	3
D	Dos familias de juntas	4
E	Dos familias de juntas más una aleatoria	6
F	Tres familias de juntas	9
G	Tres familias de juntas más una aleatoria	12
H	Cuatro o más familias de juntas, aleatorias muy fracturado, poliedros irregulares	15
J	Roca triturada como suelo	20
Nota: 1) Para intersecciones se usa 3xJn. 2) Para portales, use 2xJn		

Fuente: Barton

Una familia de juntas es definida como juntas paralelas que ocurren sistemáticamente con un espaciamiento característico. Juntas aleatorias son juntas que no ocurren sistemáticamente y generalmente no interviene en la formación de bloques. La longitud de las juntas no afecta directamente el valor de Q, pero tendrá alguna importancia para la estabilidad. Juntas con longitud considerable que cruzan a través de la sección del túnel, será más importante para estabilidad que otras juntas más cortas que pueden tener importancia local.

En algunos casos es necesario no solo considerar el número de direcciones de juntas, sino también la forma de los bloques y la posibilidad de la caída del mismo. Un ejemplo es el diaclasamiento columnar en basaltos que son usualmente hexagonales, formados por tres juntas de diferentes direcciones. La única dirección de caída puede ocurrir a lo largo de los ejes de las columnas.

3). Jr (Índice de rugosidad de las juntas)

La fricción de las juntas es dependiente del carácter de las paredes de las juntas, si estas son ondulares, planares, irregulares o lisas. El índice de rugosidad de las juntas describe estas condiciones.

Cuadro 23: Rugosidad de las juntas

Índice de Rugosidad de Juntas		Jr
<i>a) Contacto entre las paredes, y</i>		
<i>b) Contacto entre las paredes de la roca con un cizallamiento menor de 10 cm</i>		
A	Juntas discontinuas	4
B	Rugosa o irregular, ondulada	3
C	Suave, ondulada	2
D	Plano de fricción ondulada	1.5
E	Rugosa, irregular, plana	1.5
F	Lisas y planas	1
G	Plano de fricción plana	0,5
<i>c) Sin contacto entre paredes, zonas cizalladas</i>		
H	Zona que contiene minerales arcillosos de suficiente espesor para impedir el contacto entre paredes	1
J	Zona arenosa, de grava o de roca triturada de suficiente espesor para impedir el contacto de paredes	1

Fuente: Barton

Los términos rugoso – liso se refiere a estructuras pequeñas en una escala de centímetros a milímetros. Esto puede ser evaluado pasando el dedo a lo largo de la pared de la junta; la escala pequeña de rugosidad puede ser sentida. Escalas grandes de rugosidad en el orden de decímetros a metros es llamado planar – ondulado. Esto puede ser evaluado al pasar una regla a lo largo de las paredes de la junta; las ondulaciones y sus amplitudes serían fácilmente reconocidas.

4). Ja (Índice de alteración de juntas)

Para la determinación del índice de alteración de las juntas rellenas se ha dividido en tres categorías basados en sus espesores:

- Contacto entre las paredes de roca
- Contacto entre las paredes antes de un cizallamiento de 10 cm.
- Sin contacto entre las paredes durante la deformación con cizalla

Cuadro 24: Alteración de las juntas

Índice de Alteración de Juntas		ϕ_r	Ja
a) Contacto entre las paredes de la roca			
A	Sellada, dura, impermeable, relleno por cuarzo, calcita, etc.		0,75
B	Paredes sanas, superficies apenas descoloridas	25° - 35°	1,0
C	Pared poco alterada, sin minerales blando, sin arcilla ni roca desintegrada	25° - 30°	2,0
D	Paredes con limo o arena-arcillosa, poca arcilla	20° -25°	3,0
E	Materiales blandos con baja fricción, minerales arcillosos, caolinita o micas. También clorita, talco, gipsita, etc., y poca cantidad de minerales expansivos.	8° - 16°	4,0
b) Paredes con menos de 10cm de cizallamiento, relleno fino			
F	Partículas arenosas , sin minerales arcillosos y roca descompuesta	25° - 30°	4,0
G	Arcilla rígida, dura, continua espesor ≤ 5 mm	14° - 4°	6,0
H	Arcilla poco o medianamente consolidada continua espesor ≤ 5 mm	12° - 16°	6,0
J	Minerales arcillosos expansivos, esmectitas, continúa espesor ≤ 5 mm, valor de Ja dependerá del % de arcilla expansivas y acceso a agua, etc.	6° - 12°	8,0 - 12
c) Sin contacto entre paredes, zonas cizalladas			
KLM	Zonas desintegradas, roca fragmentada y arcilla ver g, h, j.	6° - 24°	6, 8 o 8 -12
N	Zonas de limo o arcilla-arenosa y pocos minerales arcillosos, duro	—	5,0
OPR	Zonas de arcilla espesa y continua ver g, h, j, para descripción.	6° - 24°	10,13 o 13 - 20

Fuente: Barton

El valor de **Ja** es dependiente del tipo de minerales arcillosos. La arcilla expansiva será más desfavorable para la estabilidad. Por esto puede ser necesario un análisis de la arcilla de relleno. Los análisis pueden ser llevados a cabo usando ensayos de laboratorio relativamente simples o eventualmente con difracción de rayos X.

5). **Jw (Factor de reducción por presencia de agua en las juntas)**

El agua en las juntas o diaclasas puede suavizar al mineral de relleno y por ende reducir la fricción; eventualmente el relleno puede ser lavado. El agua a presión reduciría la fuerza normal sobre las paredes de las juntas, esto haría que los bloques puedan cizallarse más fácilmente. Para determinar el factor de reducción por la presencia de agua está basado en la infiltración de agua dentro del túnel.

Cuadro 25: Factor de reducción debido a la presencia de agua

Factor de reducción por presencia de agua en las juntas		Jw
A	Excavación seca o con poca infiltración < 5lt/min localmente	1.0
B	Infiltración o presión media con lavado ocasional de los rellenos	0.66
C	Gran Infiltración o alta presión en roca competente con diaclasas sin relleno	0.5
D	Gran Infiltración o alta presión, lavado importante de los rellenos	0.33
E	Infiltración o excepcionalmente alta presión con las voladuras, disminuyendo con el tiempo	0.2-0.1
F	Infiltración o excepcionalmente alta presión en todo momento sin notable decaimiento.	0.1-0.05

Fuente: Barton

La infiltración de agua es frecuentemente fácil de determinar en un túnel. Sin embargo, puede haber infiltración desde la solera y tales infiltraciones puede ser difícil observar. Las masas de roca pueden estar drenando con una filtración no visible por algún tiempo después de la excavación. En un túnel cerca de la superficie la infiltración puede variar de acuerdo a las estaciones, la infiltración incrementará en periodos de alta precipitación y decrecerá en estaciones secas. Estas situaciones deben mantenerse en mente cuando se determina el factor de reducción por agua.

En algunos casos el frente de túnel puede estar seco, pero la infiltración podría desarrollarse mucho más tarde.

6). SFR (Factor de Reducción de Esfuerzos)

En general, el SFR describe la relación entre esfuerzos y la resistencia de la roca alrededor de la caverna. Ambas esfuerzo y resistencia pueden ser medidas y el SRF puede ser calculado de la relación entre la resistencia uniaxial de la roca σ_c y el esfuerzo principal mayor σ_1 , o la relación entre el esfuerzo tangencial máximo σ_θ y σ_c . Si estos datos no son disponibles el SFR tiene que ser estimado en base a: la experiencia general, de lo que se observa en el túnel o caverna o sobre la superficie.

La situación de los esfuerzos está clasificada en cuatro categorías:

a) Intersección de zonas débiles con la excavación

Una situación anómala de tensión puede ocurrir localmente en conjunto con las zonas de debilidad. El material en cada zona puede ser mucho más débil que el de la masa de roca circundante. El valor de SRF tiene que ser evaluado si la zona tiene algún efecto sobre la situación de esfuerzos sobre el túnel. En una situación ordinaria de bajos esfuerzos, una zona podría causar anomalías de esfuerzos solo en la zona en sí y si existen algunas zonas, pueden afectar a una sección más grande del túnel. Algunas veces grandes secciones de roca muy débil, por ejemplo, roca alterada químicamente o roca triturada, puede ser de un alto valor de **SRF**, ya que la resistencia a la compresión de la roca es baja relacionado al esfuerzo. En este caso la cobertura de un túnel puede ser decisiva para el valor de **SRF**.

En la evaluación de una situación de esfuerzos, el martillo de geólogo puede ser muy útil. Golpeando la pared del túnel con el martillo, generalmente será posible sentir la masa de roca comprimida.

b) Roca competente, problemas de esfuerzos de roca.

La relación entre la resistencia de la roca y el esfuerzo son decisivos para el valor de SFR. Esfuerzos moderados generalmente serían más favorables para la estabilidad, y SFR será 1. Relativamente esfuerzos horizontales altos podría ser favorables para el techo de las cavernas y un valor de 0.5 puede ser usado en estos casos.

Esfuerzos pequeños, los cuales frecuentemente sería el caso cuando la abertura subterránea tiene una baja cobertura, puede dar pobre estabilidad. El SRF para tales casos sería de 2.5 - 5 cuando el ancho es más grande que la cobertura de la roca

Con esfuerzos muy altos en el túnel puede darse estallidos de la roca, y valores de SFR sobre los 400 pueden ser usados en algunas situaciones. Los problemas de intensidad de esfuerzos, y con qué prontitud empiezan después de la excavación será decisivo para el valor de SFR. En la tabla de SFR, sección L, bajo la categoría b se describe problemas de esfuerzos moderados después de más de una hora de excavación. Si los problemas empiezan una hora después de la excavación, un valor de SFR de 50 podría ser usado; si toma una semana o más, el valor de SFR sería de 5-10.

Lo mismo se aplica a la sección M: si los problemas ocurren después de pocos minutos el valor de SFR será de 200; si esto toma media hora para ocurrir, el SFR será 50-150. La intensidad del estallido también tiene que ser considerada. En casos extremos en la sección N (SFR=200-400) los problemas empiezan inmediatamente después de la excavación (intenso colapso de roca). En tales casos puede ser necesario poner soporte en el frente de trabajo del túnel antes de empezar a perforar para un nuevo ciclo de voladura.

c) Roca fluyente, flujo plástico de roca incompetente bajo la influencia de alta presión de roca.

“Roca fluyente” significa masas de roca donde tienen lugar flujos plásticos bajo la influencia de alta presión de roca. Esto sucederá en roca suave o en roca molida cuando el esfuerzo sobrepasa a la resistencia de la masa de la roca.

d) Roca expansiva.

La expansión es un proceso químico que empieza cuando el agua entra en la roca que contiene minerales con propiedades expansivas. La cantidad y calidad de los minerales expansivos serán decisivas para este proceso y que tan grande será la presión de expansión. Puede ser necesario llevar a cabo ensayos de laboratorios y así determinar el valor de SFR.

Cuadro 26: Factor de reducción de Tensiones

Factor de reducción de Tensiones			SRF	
<i>a) ZONAS DÉBILES interceptan la excavación las cuales podrían causar caída de bloques de roca cuando el túnel es excavado a) ZONAS DÉBILES interceptan la excavación las cuales podrían causar caída de bloques de roca cuando el túnel es excavado</i>				
A	Abundantes zonas débiles o milonitas conteniendo arcilla o roca químicamente desintegrada, mucho material suelto en la superficie de la roca.		10	
B	Zonas débiles aisladas, con arcilla o roca desintegrada (profundidad ≤ 50 m)		5	
C	Zonas débiles aisladas, con arcilla o roca desintegrada (profundidad ≥ 50 m)		2.5	
D	Abundantes zonas cizalladas en roca competente sin arcilla; material suelto en la superficie de la roca; cualquier profundidad.		7.5	
E	Zonas cizalladas aisladas, en roca competente, sin arcilla: (profundidad ≤ 50 m)		5.0	
F	Zonas cizalladas aisladas, en roca competente, sin arcilla: (profundidad ≥ 50 m)		2.5	
G	Fragmentada, juntas abiertas, muy fracturado, "triturado".		5	
<i>b) ROCA COMPETENTE, problemas de tensión en el macizo</i>		σ_c/σ_1	σ_0/σ_1	SRF
H	Tensión baja, pequeña cobertura	> 200	> 13	2.5
J	Tensión media, cobertura media	200-10	13-0.66	1.0
K	Tensión alta, gran cobertura	10-5	0.66-0,33	0.5-2
L	Moderado desplazamiento en roca maciza, después de 1 hora	5-3	0.5-0.65	5-50
M	Desplazamiento y explosión de roca en roca maciza, después de pocos minutos.	3-2	0.65-1	50-200
N	Mucha explosión de roca (deformación y explosión) y deformación dinámica inmediato, roca maciza.	< 2	> 1	200-400
<i>c) TERRENO FLUYENTE, flujo plástico de roca incompetente debido a altas presiones de roca.</i>				
O	Moderado "Squeezing" con bajas presiones de roca		1-5	5-10
P	Intenso "Squeezing" con altas presiones de roca		> 5	10-20
<i>d) TERRENOS EXPANSIVOS, expansión en función de la presencia de agua</i>				
R	Moderada expansividad y consecuente presión de roca			5-10
S	Intensa expansibilidad y consecuente presión de la roca.			10-15

Fuente: Barton

Cuadro 27: Clasificación Geológica-Geotécnica con los parámetros de Barton

PROYECTO HIDROELECTRICO QUIJOS														
RESUMEN DE LA CLASIFICACION GEOLOGICA-GEOTECNICA DE LOS TÚNELES														
TUNEL:	TOMA PAPALLACTA			REALIZADO POR:						Martha Tigre		MES:		
FECHA	ABSCISA		AVANCE	PARÁMETROS DE CLASIFICACIÓN						INDICE Q	GSI	ROCA TIPO	OBSERVACIONES	
	Desde	Hasta	(m)	RQD	Jn	Jr	Ja	Jw	SRF					
		0+789,10											Abs. 0 + 789,10 Cierre de mes en Septiembre	
	0+789,10	0+790,00	0,90	30	20	1,0	12	1	5	0,03	10,80	V		
	0+790,00	0+791,15	1,15	30	20	1,0	12	1	5	0,03	10,80	V		
	0+791,15	0+793,25	2,10	30	20	1,0	12	1	5	0,03	10,80	V		
	0+793,25	0+795,00	1,75	30	20	1,0	12	1	5	0,03	10,80	V		
	0+795,00	0+796,70	1,70	35	20	1,0	8	0,66	5	0,03	12,10	V		
	0+796,70	0+798,80	2,10	35	20	1,0	8	0,66	5	0,03	12,10	V		
	0+798,80	0+800,70	1,90	35	20	1,0	8	0,66	5	0,03	12,10	V		
	0+800,70	0+802,80	2,10	35	20	1,0	8	0,66	5	0,03	12,10	V		
	0+802,80	0+804,70	1,90	35	20	1,0	8	0,66	5	0,03	12,10	V		
	0+804,70	0+805,00	0,30	35	20	1,0	8	0,66	5	0,03	12,10	V		
	0+805,00	0+806,80	1,80	40	15	1,0	8	0,66	5	0,04	15,89	V		
	0+806,80	0+808,40	1,60	40	15	1,0	8	0,66	5	0,04	15,89	V		
	0+808,40	0+810,00	1,60	40	15	1,0	8	0,66	5	0,04	15,89	V		
	0+810,00	0+811,00	1,00	40	15	1,0	8	0,66	5	0,04	15,89	V		
	0+811,00	0+812,30	1,30	25	15	1,0	8	0,66	5	0,03	11,66	V		
	0+812,30	0+814,00	1,70	25	15	1,0	8	0,66	5	0,03	11,66	V		
	0+814,00	0+815,85	1,85	25	15	1,0	8	0,66	5	0,03	11,66	V		
	0+815,85	0+817,50	1,65	25	15	1,0	8	0,66	5	0,03	11,66	V		
	0+817,50	0+819,70	2,20	25	15	1,0	8	0,66	5	0,03	11,66	V		
	0+819,70	0+821,60	1,90	25	15	1,0	8	0,66	5	0,03	11,66	V		
	0+821,60	0+822,88	1,28	30	15	1,0	8	0,66	5	0,03	13,30	V		
	0+822,88	0+824,48	1,60	30	15	1,0	8	0,66	5	0,03	13,30	V		
	0+824,48												Abs. 0 + 824,48 Cierre de mes en Octubre	
			35,38											

Elaborado por: Martha Tigre

El valor-Q da una descripción del macizo rocoso e indican una cierta situación de estabilidad con una dada necesidad de soporte. Además de la calidad del macizo rocoso, las condiciones de seguridad y las dimensiones del túnel (ancho o altura de las paredes) son decisivos para el diseño de soporte en túneles. Las condiciones de seguridad dependerán de cómo será usada la obra. Un túnel vial necesitara un nivel de seguridad mayor que un túnel hidráulico.

Para expresar las condiciones de seguridad, se usa un factor llamado ESR (Radio de Soporte de Excavación). Un bajo valor ESR indica la necesidad para un alto nivel de seguridad mientras que un mayor valor indica que un bajo nivel de seguridad será aceptable.

Cuadro 28: Factor de Seguridad-Radio de Soporte de Excavación (ESR)

TIPO DE EXCAVACIÓN		ESP
A	Túnel temporal para minería, etc.	3 - 5
B	Cavernas verticales: i) sección circular	2.5
	ii) sección rectangular/cuadrada.	2.0
C	Túnel permanente para minería. Túneles de conducción de agua para presas hidroeléctricas (excluyendo tubería de presión), túneles pilotos, excavaciones parciales para cámaras subterráneas grandes.	1.6
D	Cámaras de almacenamiento, plantas de tratamiento de agua, túneles de carretera de segundo orden y ferrocarril, túneles de acceso.	1.3
E	Casa de máquinas, túneles para carretera de primer orden y ferrocarril, refugios de defensa civil, portales, intersecciones, etc.	1.0
F	Estaciones eléctricas nucleares subterráneas, estaciones de ferrocarril, instalaciones para deportes y reuniones, fábricas.	0.8
G	Muy importantes cavernas y túneles con larga vida, túneles para tuberías de gas.	0.5

Fuente: Barton

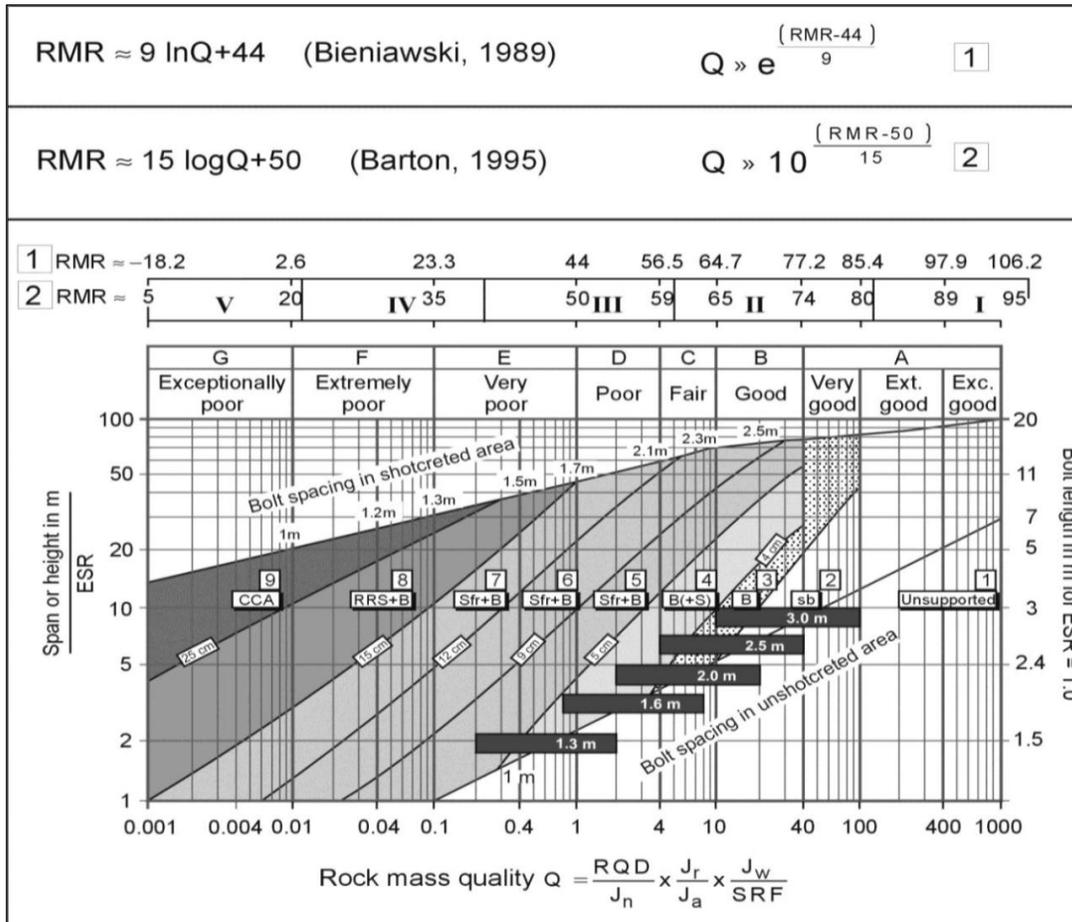
El ESR conjuntamente con el ancho del túnel (o altura de la pared) dan la Dimensión Equivalente (DE) de la siguiente manera:

$$DE = \frac{\text{Ancho, diámetro o altura(m) de la excavación}}{\text{Relación de sostenimiento de la excavación (ESR)}}$$

El Abaco de Barton actualizado en el año 2002, mediante una colección de datos por un periodo de varios años realizada por Grimstad de NGI, fusionando los métodos de RMR (Bieniawski, 1989) y Q (Barton 1995) nos da un índice Q para 5 clases de roca. En el

ábaco, el valor-Q es planteado a lo largo del eje horizontal y la dimensión equivalente a lo largo del eje vertical. Debido a que el diagrama ha sido realizado a partir de datos empíricos, puede funcionar como una guía para el diseño de soporte permanente en la construcción de túneles.

Gráfico 18: Abaco de Barton



Fuente: N. Barton | International Journal of Rock Mechanics & Mining Sciences 39 (2002) 185-216

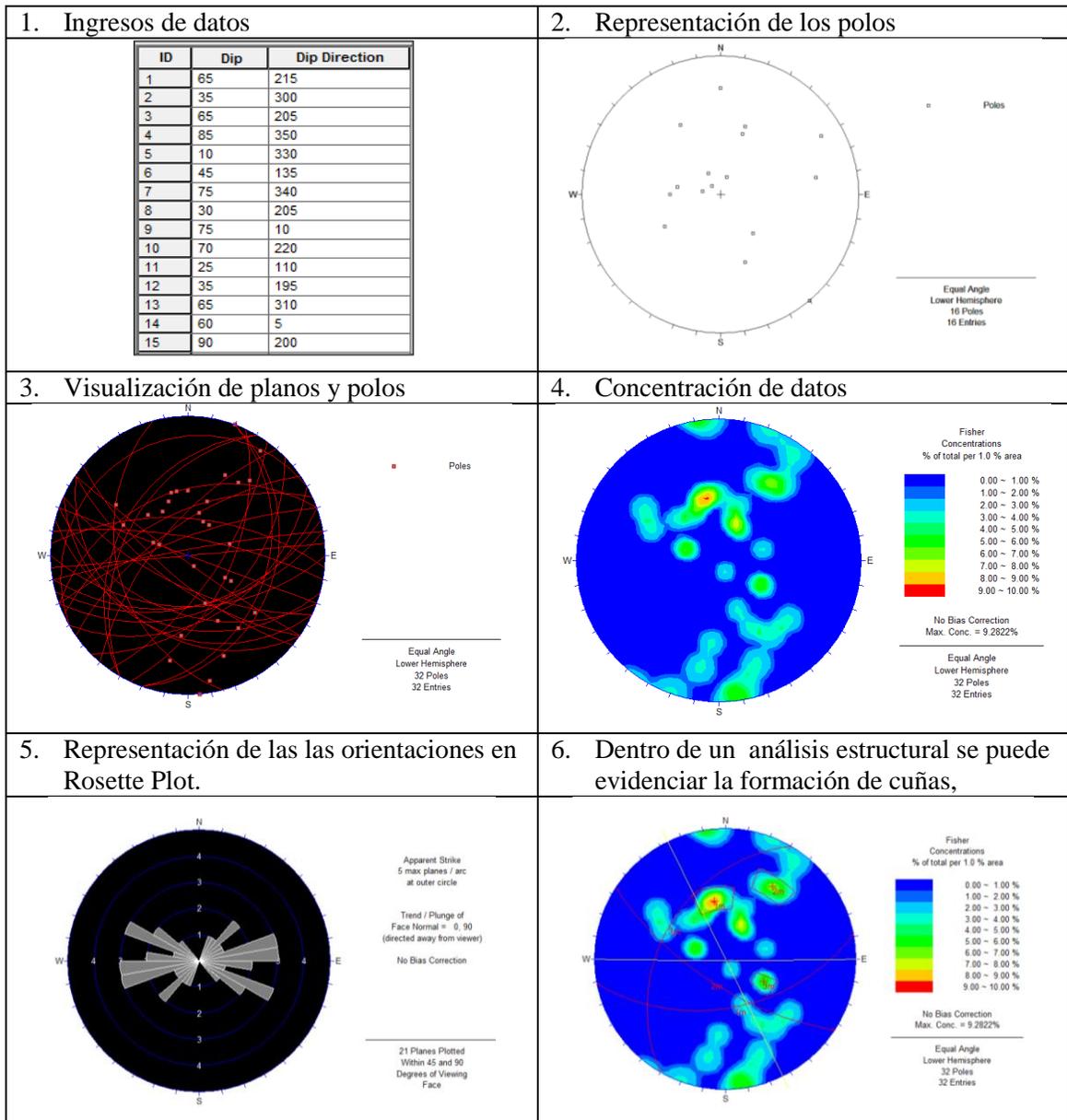
I. ANÁLISIS ESTRUCTURAL CON PROGRAMAS INFORMATICOS

Con el avance de la tecnología actualmente existen varios programas informáticos que se han desarrollado exclusivamente para la aplicación en excavaciones subterráneas y permiten hacer análisis estructurales de manera versátil.

1. Programa DIPS

Uno de los programas que han revolucionado los sistemas geomecánicos es el DIPS que fue desarrollado en Canadá. Éste programa está diseñado para el análisis de las características geo-estructurales resultado del análisis de ingeniería de las estructuras rocosas.

Gráfico 19: Análisis de estructuras en el programa Dips



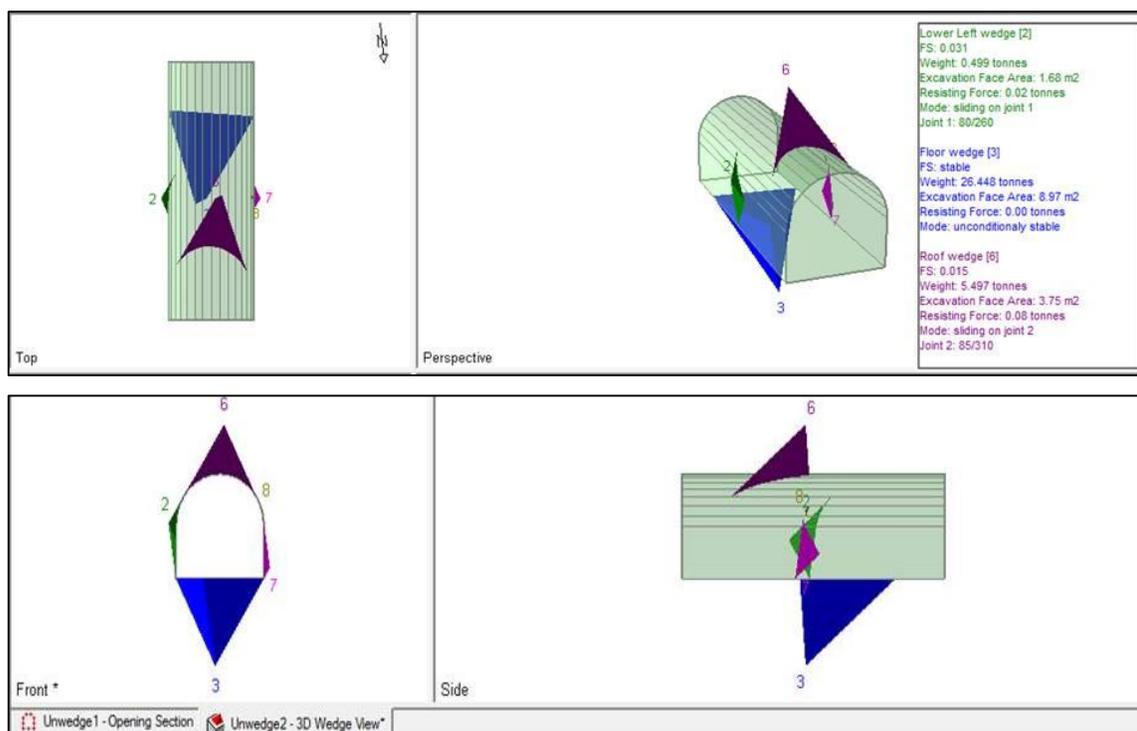
Elaborado por: Martha Tigre

Este programa ha sido diseñado para el cálculo interactivo, gráfico y estadístico, de orientaciones de datos estructurales geológicos, y dando al usuario una forma parecida a usar manualmente la proyección estereográfica. El uso del DIPS es sumamente rápido y eficaz.

2. Programa UNWEDGE

Es un programa interactivo y fácil de usar, fue diseñado para el análisis de la geometría y la estabilidad de cuñas definidas por la intersección de las discontinuidades estructurales del macizo rocoso en las excavaciones subterráneas.

Gráfico 20: Análisis estructural de cuñas con el programa Unwedge



Fuente: García, C (2015)

Los factores de seguridad se calculan en las cuñas y las necesidades de apoyo (soporte) potencialmente inestable puede ser modelado utilizando diversos tipos de patrones y atornillado al concreto y hormigón proyectado. Y permite visualizar los resultados en 3D. Unwedge nos sirve para crear rápidamente un modelo, realizar un análisis de factor de seguridad, colocar refuerzo e interpretar los resultados.

J. SECUENCIA DEL LEVANTAMIENTO GEOLOGICO-GEOTECNICO EN EL CAMPO

1. Introducción

Los levantamientos geológicos-geotécnicos se realizan después de cada avance, ya que las características del macizo rocoso son impredecibles y sus propiedades pueden cambiar en tramos muy cortos.

Para realizar la clasificación del macizo se debe respetar el ciclo de producción con el fin de evitar accidentes. Los trabajos que se desarrollan en el túnel tienen varias etapas como: Perforación, sopleteo, carga de explosivos, voladura, ventilación, desalojo de material, desquinche-limpieza del frontón, topografía, mapeo geológico e instalación de sostenimiento dependiendo el tipo de roca. El levantamiento se debe llevar a cabo antes del revestimiento primario colocación de hormigón lanzado primera capa, para poder observar las condiciones del macizo y tomar las respectivas mediciones.

2. Secuencia en el mapeo de túneles

a. Primero

Se inicia con la medida de la longitud de avance, la misma que se puede realizar con un flexómetro, distanciometro, o teodolito. Esta medida nos sirve para especificar y escalar en la hoja de mapeo el tramo evaluado, e indicar con exactitud en que abscisa se tiene un cambio de calidad de roca.

La longitud de avance depende de la calidad de roca. Por ejemplo, si se tiene un macizo de calidad tipo I, II los avances pueden ser de 2.50 a 3.00 m, en un macizo de calidad tipo V los avances son de 0,50 a 1m.

b. Segundo

Se realiza la medición de los parámetros del macizo, que también depende de la calidad del macizo rocoso.

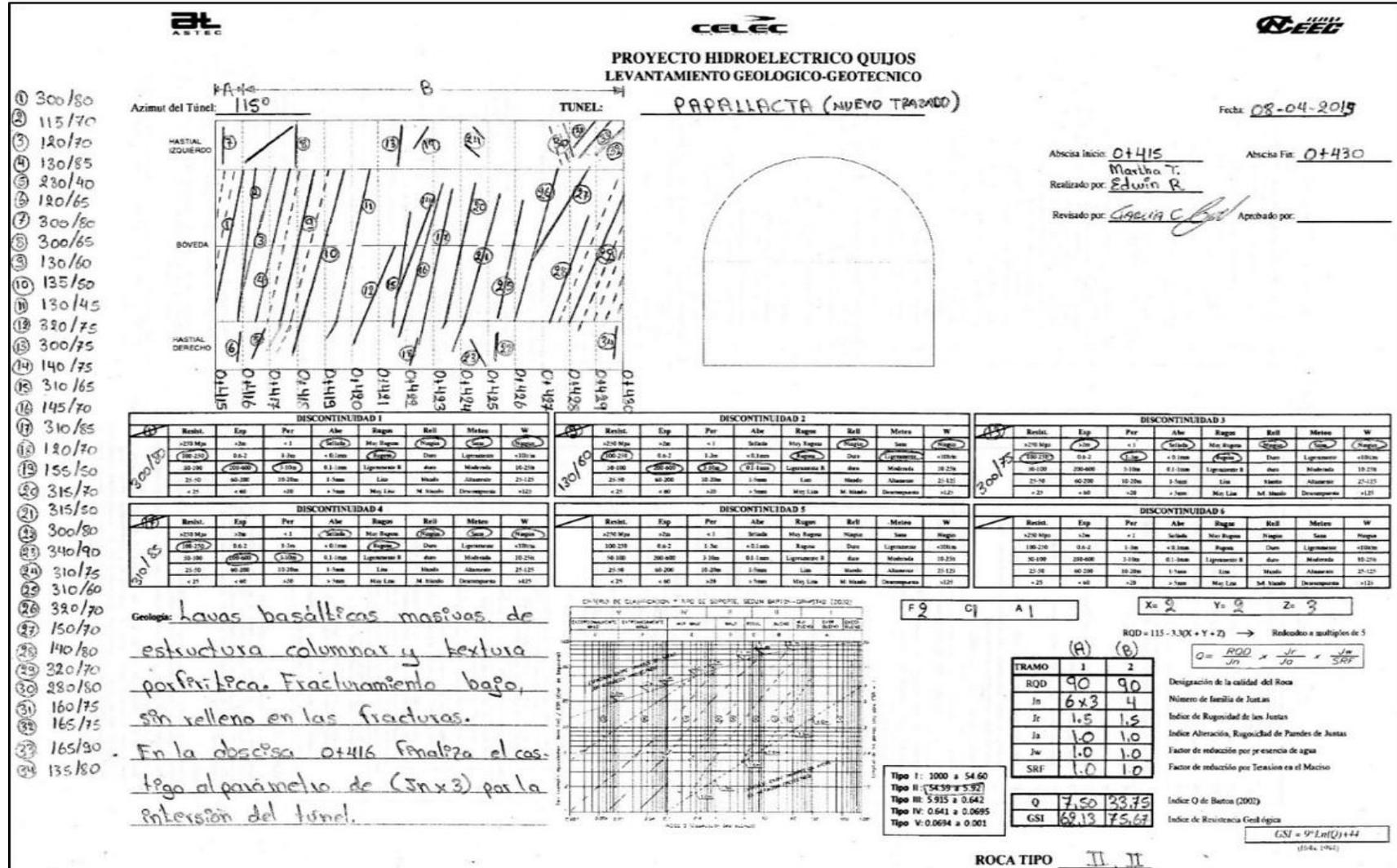
- En tipo I, II, III, el macizo rocoso es de calidad buena a media y dependiendo de las condiciones que presente el macizo se podría tomar las siguientes medidas y características de las discontinuidades: dirección de buzamiento y buzamiento, RQD, espaciamiento, longitud de las discontinuidades, abertura, relleno, rugosidad, el grado de alteración y la presencia de agua subterránea.
- En tipo IV la calidad del macizo es mala, las condiciones son desfavorables ya que se trata de rocas altamente meteorizadas (muy fracturadas), en los que el grado de cohesión y resistencia son muy bajos. En estos tipos de rocas o depósitos (escoria volcánica, brechas) normalmente no existen estructuras. Pero se puede valorar características como: tipo de depósito, grado de fracturamiento, tamaño de clastos o bloques, el tipo de relleno o matriz, longitud de las aberturas, condiciones de meteorización y la presencia de agua (caudal) subterránea.
- En roca tipo V, la calidad del macizo es muy mala, las condiciones son muy desfavorables. Se trata de suelos (arcilla-limo-arena), o depósitos no consolidados (brecha y/o conglomerados con clastos metamórficos e ígneos en matriz de arcilla-limo. Debido a las malas condiciones del macizo, el sostenimiento se debe colocar antes (sostenimiento preventivo) y después del avance, para evitar el desprendimiento y deformación de la sección.

En esta calidad de macizo se debe observar y valorar los siguientes parámetros: cohesión, resistencia, tamaño de clastos o bloques, cronología de estratos, tipo de matriz, grado de meteorización y presencia de agua subterránea (caudal).

c. Tercero

Toda la información obtenida en el campo se describe y se implanta en hojas diseñadas para el mapeo geológico-geotécnico (ver gráfico 21).

Gráfico 21: Formato para el mapeo en campo con los parámetros de Barton



Elaborado por: Martha Tigre

Con la información obtenida, se analiza detenidamente cada uno de los parámetros y obtiene el valor para determinar la calidad del macizo rocoso. Este procedimiento tarda aproximadamente entre 5 a 20 min en el campo.

d. Cuarto

Se debe realizar el registro fotográfico de cada avance, especialmente de las zonas más críticas o sobresalientes como: fallas, desprendimientos, cuñas, flujos de agua y cambios litológicos. Que nos sirve de respaldo para demostrar la calidad del macizo rocoso y dilucidar alguna duda a futuro.

e. Quinto

El resultado obtenido del mapeo geológico nos da la calidad del macizo rocoso, el cual debe ser comunicado inmediatamente al encargado del frente, para que coloque el sostenimiento respectivo con base al diseño respectivo.

f. Sexto

Con base al formato de Barton se completan los 15m de mapeo correspondiente a cada hoja de campo las mismas que son archivadas para respaldo. Luego en formatos de hojas de autocad de cada 50 m grafican los planos definitivos de construcción. Se repite el proceso según los avances realizados.

K. MATERIALES

1. Materiales de oficina

Mapa topográfico y geológico, escalímetro, computadora portátil, impresora, lápices, borrador, hojas de papel bond, grapadora, perforadora, archivadores, calculadora, graduador y otros materiales.

2. Materiales de campo

Cámara fotográfica digital, libreta de campo, brújula de geólogo, martillo de geólogo, flexómetro, lupa de geólogo, calculadora, tablero, hojas de campo para el mapeo, lápiz, borrador, accesorios para la toma de muestra y equipo de protección personal (casco, respirador, tapones auriculares, chaleco reflectivo, botas impermeables punta de acero).

V. ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

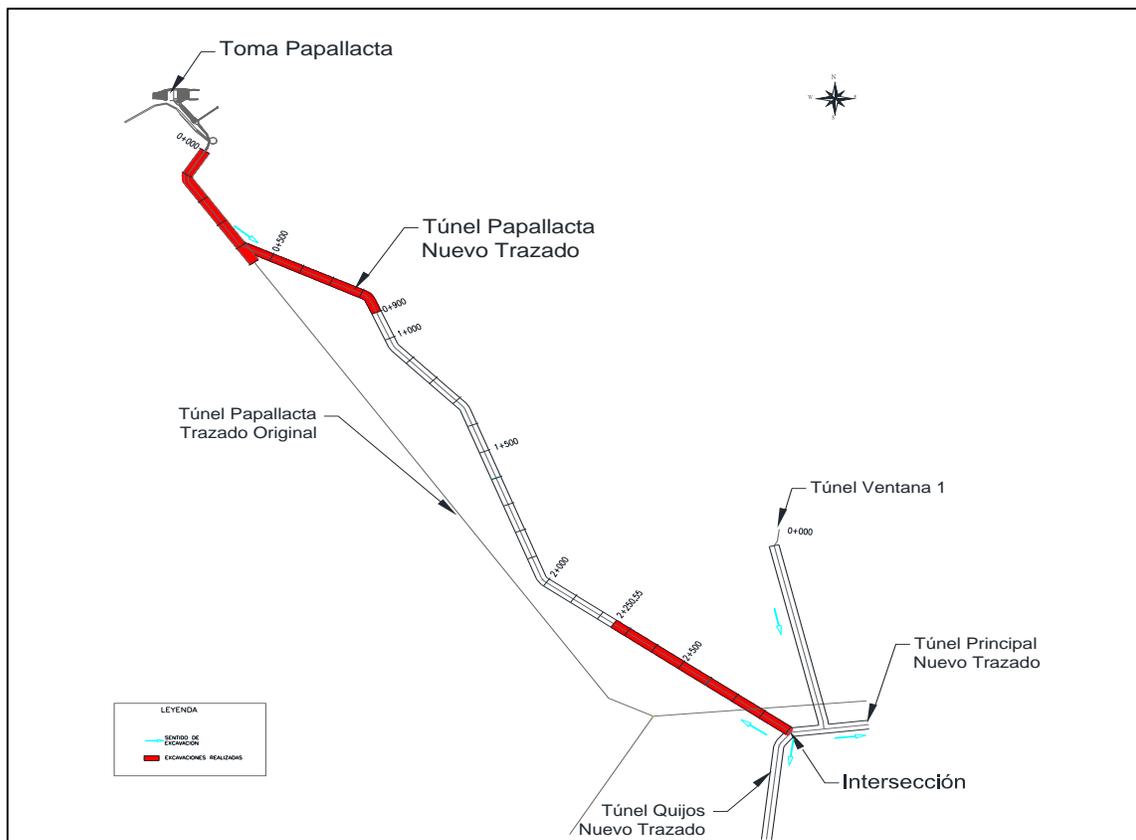
A. CARACTERÍSTICAS DEL TÚNEL

Túnel Papallacta tiene una longitud de 2.894,27 m, con una pendiente variable entre 10 a 1,03%. La sección del túnel es de 3,75 de alto por 3,75 de ancho.

La longitud excavada es desde la abscisa 0+000,00 hasta la abscisa 0+900,00 (900,00m) desde la toma y desde la abscisa 2+894,27 intersección con túnel principal y túnel quijos hasta la abscisa 2+250,55 (643,72m) desde la intersección, los dos tramos suman un total de 1+543,72 m excavados.

El área es de 12,5536m² y el volumen teórico excavado es de 19.379,24 m³.

Gráfico 22: Excavación realizada en Túnel Papallacta



Elaborado por: Martha Tigre

La clasificación geológica-geotécnica del tramo que falta por excavar se realizó de acuerdo al perfil realizado con la información de los sondeos (ver gráfico 24), estos datos son aproximados corresponden a una interpretación.

1. Litología del túnel

La zona en la que está ubicado Túnel Papallacta ha enfrentado una situación muy compleja debido a las condiciones geológicas difíciles entre la franja de contacto entre el basamento metamórfico y la formación volcánica suprayacente.

Las excavaciones y sondeos ejecutados en la etapa de construcción han permitido determinar una geología diferente y más compleja a la que se preveía en los diseños. La litología encontrada como lavas, lahares, paleocauces, escoria y esquistos se describe a continuación de acuerdo al sentido de excavación en el plano horizontal.

a. Depósito aluvial (Cuaternario)

Este depósito con un espesor de 7,5 m se encuentra en la parte superficial, en la entrada del túnel, cubriendo a las lavas basálticas. Corresponde a sedimentos, clastos y bloques de materiales metamórficos y volcánicos en matriz de arena y grava depositado por el río Papallacta.

b. Lavas basálticas (Cuaternario)

Depósitos compuestos por flujos de lavas basálticas masivas y lavas andesíticas con textura porfirítica de grano fino-medio y textura vesicular, con estructura columnar vertical a subhorizontal debido al enfriamiento del flujo. La coloración es variable de gris azulado a negruzco, con presencia de minerales de anfíbol, vidrio volcánico, plagioclasas y piroxenos con bajo porcentaje de olivino. El fracturamiento es de bajo a medio en la calidad tipo II y III, y muy fracturado ha intensamente fracturado en calidad tipo IV y V. Las discontinuidades son planas e irregulares con caras rugosas a ligeramente rugosas y encuentran ligeramente meteorizadas con pequeñas zonas de oxidación. El relleno es de milimétrico a centimétrico de material blando (arcilla-limo y oxidaciones).

Al existir dos o tres familias de diaclasas y una esporádica, da a la formación cuñas abiertas y cerradas en la bóveda y hastiales las mismas que deben ser estabilizadas con sostenimiento. La presencia de agua es muy variable, existen tramos completamente secos, húmedos, ligeramente húmedos, con goteo y flujos.



Fotografía 9: Lavas basálticas columnares, (Calidad Tipo II)



Fotografía 10: Lavas basálticas, (Calidad Tipo IV)

Las abscisas en las que se encuentra estos depósitos son: de 0+007,5 hasta 0+588, de 0+686 hasta 0+706, de 0+797.20 hasta 0+863 y 0+894 a 2+585,50.

Con base a la descripción estratigráfica de los sondeos, estos depósitos constituyen el 54.5% del espesor total de la secuencia vulcano-sedimentaria, mientras el espesor promedio de los flujos es de 15,3 m.

c. Depósito de Paleo-ladera (Cuaternario)

Debido al contacto litológico y al orden como se encontraron depositados los clastos y bloques se cree que antiguamente en las laderas de los valles de rocas metamórficas que se encontraban ligeramente meteorizados se produjeron lahares y los escombros de la paleoladera compuestos de clastos volcánicos y metamórficos de diferente diámetro en matriz limo-arcilla (brecha), con intercalaciones centimétricas de ignimbritas quedaron atrapadas por los flujos volcánicos del Antisana.



Fotografía 11: Contacto entre el depósito de ladera y lavas (Calidad Tipo V)

El depósito de ladera está compuesto por una intercalación entre: esquistos cuarzo sericíticos, cloríticos y grafíticos con vetillas de cuarzo metamórfico en un 90% y clastos volcánicos un 10%. Resistencia baja, meteorización alta y cohesión baja. La presencia de agua subterránea se observa como húmedo, ligeramente húmedo, goteo y flujos en ciertas abscisas. Las abscisas en las que se encontró este depósito es 0+560 hasta 0+834.

En este depósito también se encontró la intrusión de un gneis de buena resistencia de color gris a verdusco con fracturamiento entre medio a alto con oxidaciones, este contacto estaba entre el piso y hastial entre las abscisas 0+718 hasta 0+742. Y un dique de lavas basálticas masivas, con textura porfirítica ligeramente meteorizado, entre el diaclasamiento de las lavas columnares se encontró relleno milimétrico de arcilla, limo y oxidaciones. El dique se encontró el hastial izquierdo entre el piso y parte de la bóveda en las abscisas 0+686 hasta la 0+706.



Fotografía 12: Depósito de paleo-ladera (Calidad Tipo V)

d. Depósito de arcilla-limo-arena (Paleocauce)

Existe la teoría que, antiguamente antes de la formación de la secuencia volcánica ya existía los paleocauces y la confluencia de los ríos Papallacta y Quijos, en una posición diferente a la actual, lo que implica zonas con presencia de paleocauces, depósitos de ladera y aluviales los cuales excavaron sus cauces en roca metamórfica a un nivel más bajo del nivel actual.

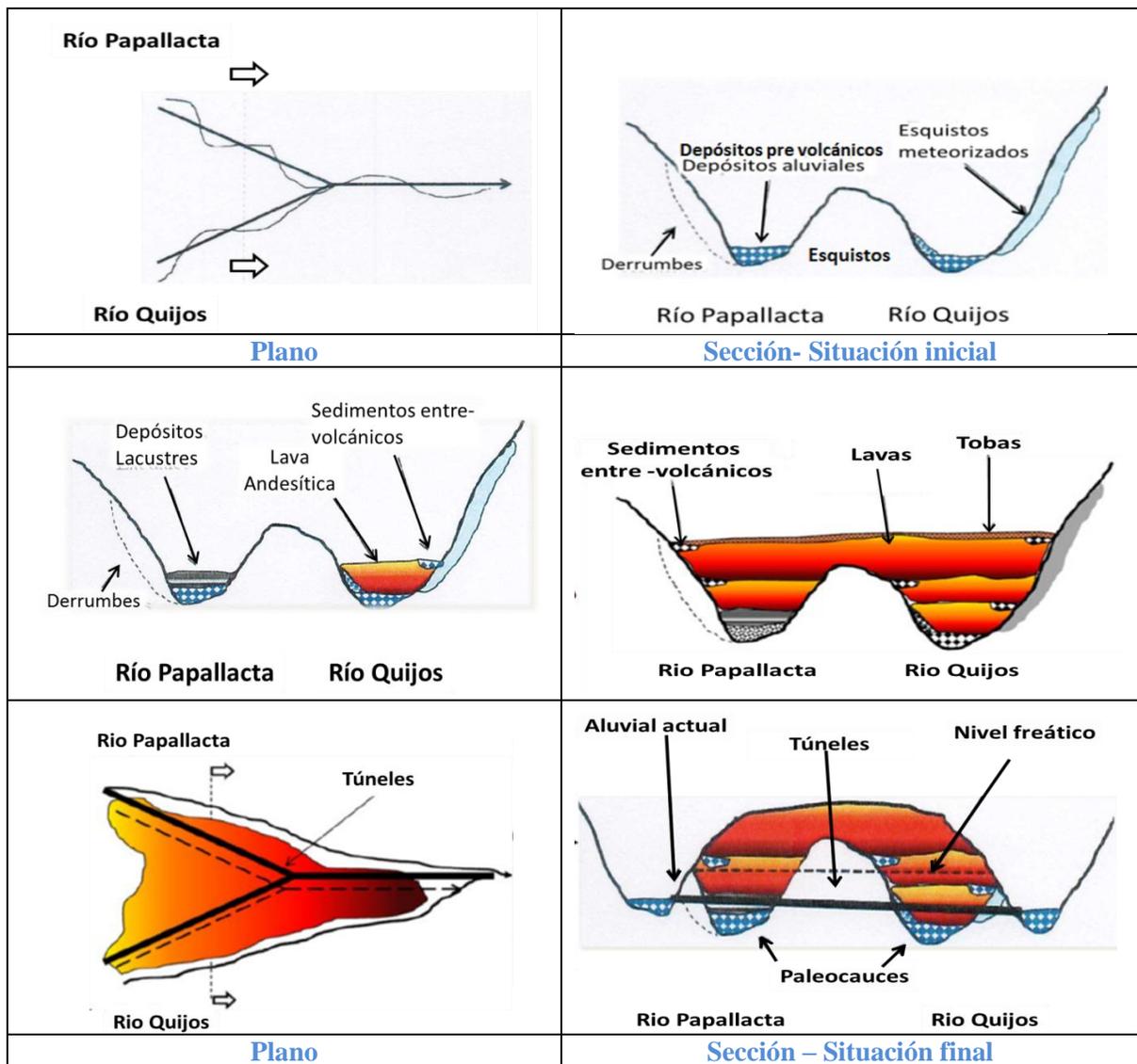
La actividad del Volcan Antisana produjo varios episodios por el antiguo cauce de los ríos Papallacta y Quijos relleno sus valles. Los flujos de lava, escoria y ceniza cubrieron la morfología antigua entrapando los paleocauces, depósitos aluviales y esquistos meteorizados de derrumbe entre las lavas y el sustrato metamórfico sano.

Gráfico 23: Panorámica del paleocauce río Papallacta relleno por flujo de lava



Fuente: Battaglia, D (2014)

Gráfico 24: Modelo geológico conceptual - Situación ante volcánica



Fuente: Battaglia, D (2014)

Las lavas cerraron el flujo de agua produciendo presas naturales y formación de embalses en los cuales se depositaron los sedimentos lacustres finos, lahares y depósitos aluviales.

Los flujos generaron por lo tanto una secuencia de depósitos vulcano-sedimentarios de gran complejidad, constituida por una alternancia de roca de buena calidad en alternancia con paleosuelos, depósitos aluviales, lacustres, de lahares constituidos por suelos de compactación y cementación muy variable.

Después de la fase de deposición de la lava, los ríos han continuado con el proceso de erosión, sin embargo, por la presencia de un espeso cuerpo volcánico en la zona antigua de confluencia, los cauces se desarrollaron en una posición más externa de la anterior, inicialmente entre en contacto de lavas y metamórfico y después únicamente en roca metamórfica. El resultado de la erosión es la posición actual, más externa de original, de los ríos Papallacta y Quijos. El basamento de fondo de los ríos está constituido por rocas muy poco permeables y se destaca la presencia de acuíferos con un nivel freático muy alto (Battaglia, 2014).



Fotografía 13: Contacto litológico entre lavas y el paleocause (Calidad Tipo V)

Depósito lacustre alternado entre arcilla-limo-arena (suelo) suprayace al basamento metamórfico a lo largo de los paleocauces y paleoladeras del río Papallacta que fueron cubiertos por flujos de lava, presenta intercalaciones centimétricas de lentes de gravas y

arena gruesa producto de la depositación clasificada de ambientes lacustres. Con cohesión baja y resistencia baja, en los que han encontrado varios fósiles vegetales. La presencia de agua subterránea con base a los ensayos en laboratorio nos da un porcentaje de humedad del 28%.

Con esta calidad de suelos, los avances deben ser de corta longitud, y antes de realizar el avance debe ser colocado el sostenimiento preventivo para consolidar la sección, así como después del avance para dar estabilidad a toda la sección del túnel. La excavación debe realizarse con método mecánico, para evitar el colapso o deformación de la sección. Abscisa 0+854 a 0+900.



Fotografía 14: Depósito de arcilla, limo y arena (Calidad Tipo V)

e. Escoria volcánica (Cuaternario)

Depósito constituido de clastos y bloques en matriz arcilla-limo-arena (aglomerado volcánico). Se distinguen clastos de aproximadamente hasta 40 cm de diámetro cementados por material limo-arenoso bien consolidado. Se observan lentes de arena de grano medio y entre ésta clastos esporádicos de esquistos. Las escorias se encuentran ligeramente meteorizadas y presentan textura porosa con coloración rojiza a gris negruzca. Su

resistencia y compactación es generalmente de media a baja, su cohesión de media a baja, con presencia de óxidos y relleno arena-limo.



Fotografía 15: Contacto litológico entre escoria volcánica y esquistos (Calidad Tipo V)

Las abscisas en las que se encuentra este depósito son desde la abscisa 2+774.80 hasta 2+597.00. La presencia de agua en el depósito se determina entre húmedo a ligeramente húmedo con goteo esporádico entre el contacto litológico de la escoria y los esquistos.



Fotografía 16: Depósito de escoria volcánica (Calidad Tipo V)

Con base a las columnas estratigráficas de los sondeos estos depósitos constituyen el 38.4% del espesor total de la secuencia vulcano-sedimentaria, mientras el espesor promedio de los estratos brechados es de 14.7m.

f. Esquistos cuarzo sericíticos y cloríticos (Roca metamórfica-Jurásico)

Los esquistos cuarzo sericíticos y cloríticos con sulfuros diseminados se encuentran debajo de los depósitos cuaternarios, su coloración es variable entre gris claro a oscuro y verdoso dependiendo de la mineralogía.

Los esquistos presentan características de roca sana a muy meteorizada con una resistencia de buena (calidad tipo II) a blanda (calidad tipo IV). El fracturamiento es de alto a bajo. Las discontinuidades presentan relleno blando (arcilla-óxidos) y duro (cuarzo), las juntas de rugosidad se encuentran entre onduladas a lisas.



Fotografía 17: Esquistos cuarzo sericíticos (Calidad tipo II)

Por lo general el dominio estructural es perpendicular al eje del túnel, que al interceptar con otro grupo de familia de discontinuidades y los planos de foliación forman cuñas inestables y se produce el desprendimiento de los mismos. Los planos de foliación muestran orientaciones muy variables (bandeadas) con valores de buzamientos bajos menores a 40°.

La presencia de agua subterránea determina por seco, húmedo, ligeramente húmedo, con goteo y flujos menores a 10lt/min.

Las abscisas en las que se encuentran los esquistos son entre la 2+592.00 hasta 2+894,27.



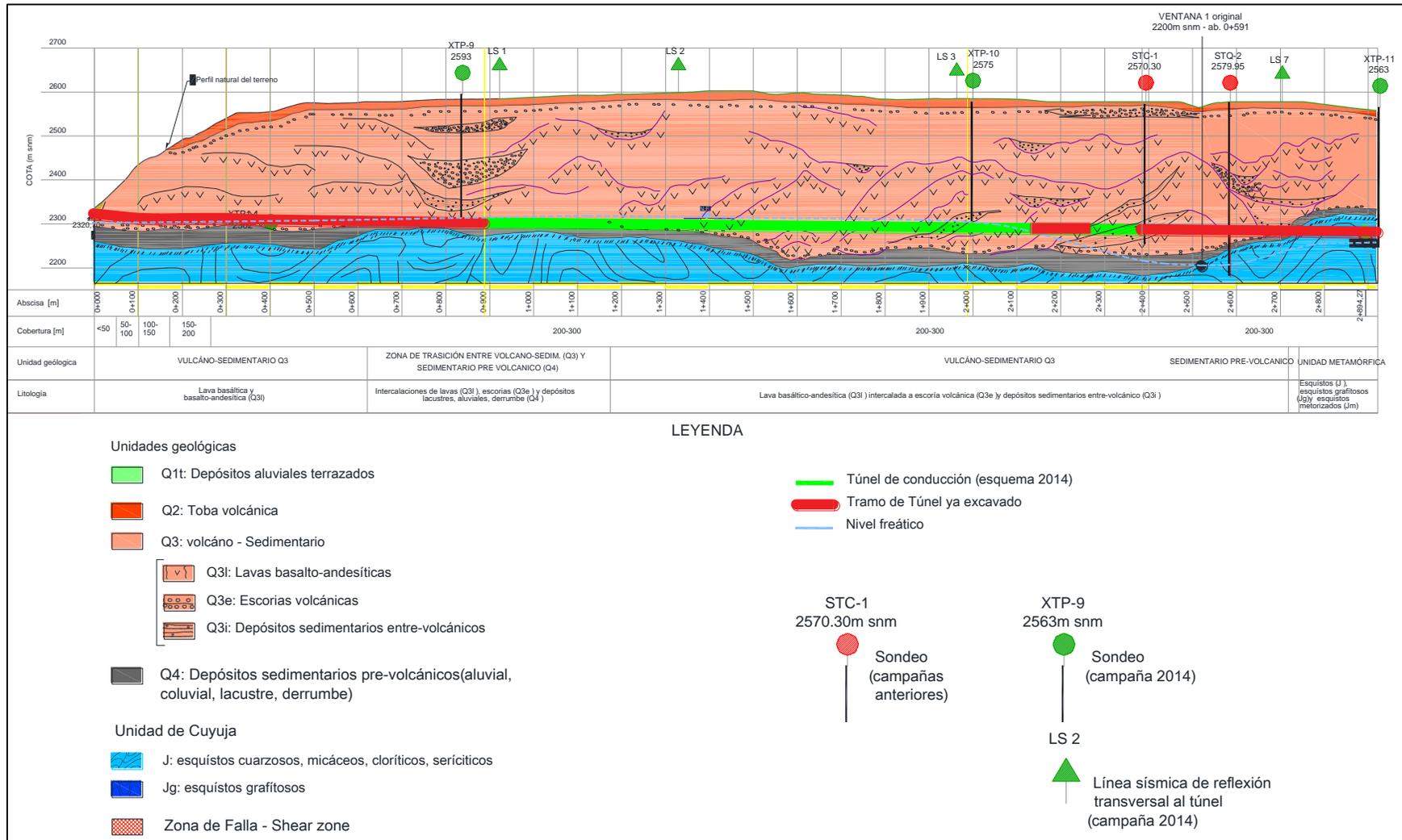
Fotografía 18: Esquistos (Calidad Tipo III)

Cuadro 29: Longitud excavada y por excavar de acuerdo a la Calidad del Macizo

LONGITUD (m)		TOTAL	ROCA TIPO
Excavada	Por excavar		
10,00	0,00	10,00	I
705,30	462,05	1167,35	II
226,2	519,40	745,60	III
251,07	221,00	472,07	IV
351,15	148,10	499,25	V
1543,72	1350,55	2894,27	

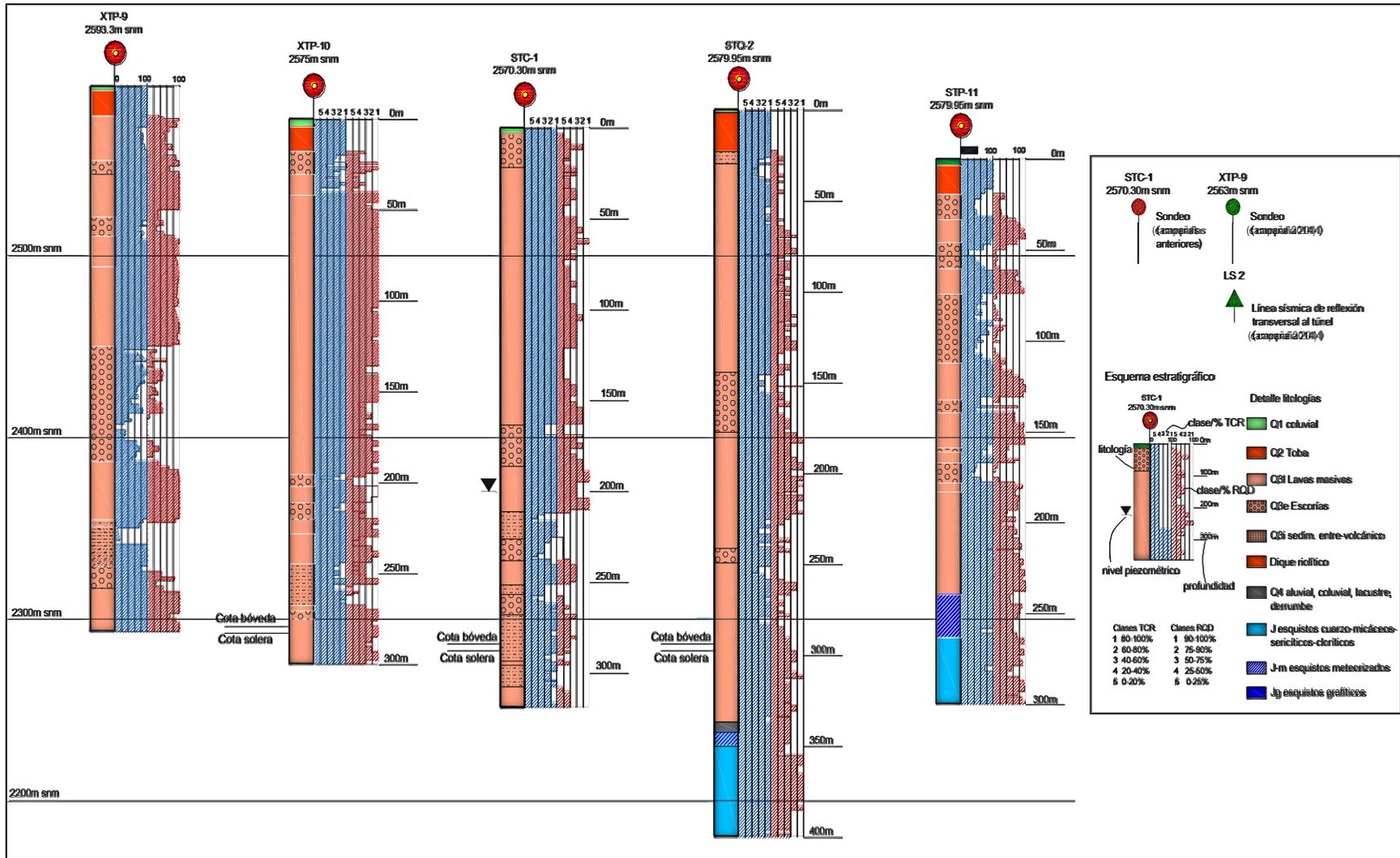
Elaborado por: Martha Tigre

Gráfico 25: Perfil Geológico – Geotécnico del trazado del Túnel Papallacta



Fuente: ASTEC INTEGRAL - Lombardi, (2014)

Gráfico 26: Sondeos realizados en el área de estudio



Fuente: ASTEC INTEGRAL - Lombardi, (2014)

2. Clasificación Geológica-Geotécnica

De acuerdo a las clasificaciones (Métodos de Barton Q y Bieniawski RMR) realizadas después de cada avance en el trazado de túnel Papallacta tenemos las siguientes calidades de tipos de macizo rocoso.

Cuadro 30: Clasificación de Calidad Tipo I

PROYECTO HIDROÉLECTRICO QUIJOS						
CLASIFICACION GEOLÓGICA-GEOTÉCNICA						
Abscisa		Longitud (m)	RMR	Q	Calidad Tipo	
Desde	Hasta		Valor	Valor		
0+095,00	0+105,00	10,00	88,00	67,50	I	Muy buena
		10,00				

Cuadro 31: Clasificación de Calidad Tipo II

PROYECTO HIDROÉLECTRICO QUIJOS						
CLASIFICACION GEOLOGICA-GEOTECNICA						
Abscisa		Longitud (m)	RMR	Q	Calidad Tipo	
Desde	Hasta		Valor	Valor		
0+020,00	0+046,00	26,00	65,00	7,50	II	Buena
0+050,00	0+095,00	45,00	67,00	18,75	II	Buena
0+105,00	0+565,00	460,00	78,00	31,88	II	Buena
1+256,40	1+326,60	70,20	69,00	22,50	II	Buena
1+349,50	1+412,00	62,50	74,00	26,25	II	Buena
1+461,40	1+597,60	136,20	78,00	30,00	II	Buena
1+707,30	1+743,70	36,40	76,00	33,50	II	Buena
2+036,50	2+116,60	80,10	76,00	33,50	II	Buena
2+173,90	2+292,00	118,10	69,00	22,50	II	Buena
2+347,80	2+361,45	13,65	74,00	30,00	II	Buena
2+670,10	2+679,30	9,20	65,00	16,00	II	Buena
2+681,50	2+688,30	6,80	62,00	20,00	II	Buena
2+693,25	2+711,00	17,75	65,00	16,00	II	Buena
2+717,90	2+721,40	3,50	64,00	17,50	II	Buena
2+738,15	2+744,80	6,65	62,00	22,00	II	Buena
2+769,00	2+803,20	34,20	65,00	24,00	II	Buena
2+819,20	2+860,30	41,10	63,00	22,00	II	Buena
		1167,35				

Elaborado por: Martha Tigre

Cuadro 32: Clasificación de Calidad Tipo III

PROYECTO HIDROELECTRICO QUIJOS						
CLASIFICACION GEOLOGICA-GEOTECNICA						
Abscisa		Longitud (m)	RQD	Q	Calidad Tipo	
Desde	Hasta		Valor	Valor		
0+046,00	0+050,00	4,00	58,00	5,83	III	Regular
0+565,00	0+582,00	17,00	47,00	1,94	III	Regular
0+844,00	0+855,30	11,30	47,00	1,94	III	Regular
0+912,00	0+928,20	16,20	51,00	4,58	III	Regular
1+198,90	1+256,40	57,50	49,00	4,50	III	Regular
1+326,60	1+349,50	22,90	53,00	5,00	III	Regular
1+412,00	1+461,40	49,40	46,00	2,22	III	Regular
1+597,60	1+707,30	109,70	55,00	3,33	III	Regular
1+743,70	1+848,10	104,40	47,00	1,94	III	Regular
1+873,20	1+925,90	52,70	44,00	1,67	III	Regular
1+987,20	2+036,50	49,30	50,00	3,75	III	Regular
2+116,60	2+173,90	57,30	44,00	1,67	III	Regular
2+292,00	2+312,50	20,50	42,00	1,00	III	Regular
2+361,45	2+371,20	9,75	55,00	5,00	III	Regular
2+476,80	2+552,45	75,65	46,00	1,90	III	Regular
2+604,05	2+615,10	11,05	42,00	1,00	III	Regular
2+618,00	2+624,70	6,70	56,00	5,80	III	Regular
2+663,85	2+666,40	2,55	49,00	3,33	III	Regular
2+679,30	2+681,50	2,20	50,00	3,33	III	Regular
2+688,30	2+693,25	4,95	45,00	2,04	III	Regular
2+711,00	2+717,90	6,90	43,00	1,53	III	Regular
2+721,40	2+730,10	8,70	46,00	1,67	III	Regular
2+731,90	2+738,15	6,25	46,00	1,67	III	Regular
2+744,80	2+749,50	4,70	44,00	1,53	III	Regular
2+756,60	2+769,00	12,40	47,00	1,94	III	Regular
2+803,20	2+819,20	16,00	51,00	3,75	III	Regular
2+860,30	2+865,90	5,60	47,00	1,94	III	Regular
		745,60				

Elaborado por: Martha Tigre

Cuadro 33: Clasificación de Calidad Tipo IV

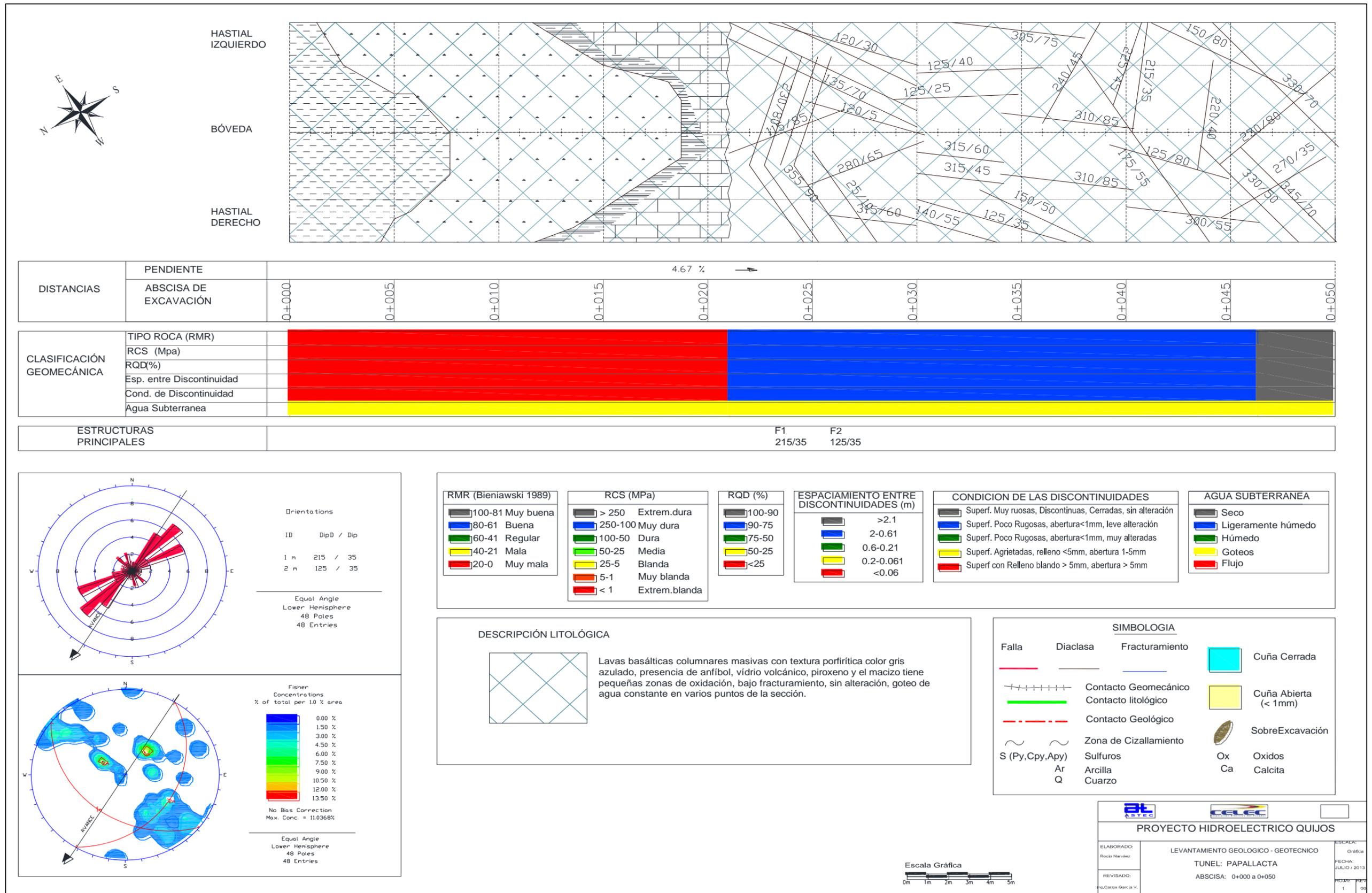
PROYECTO HIDROÉLECTRICO QUIJOS						
CLASIFICACION GEOLOGICA-GEOTECNICA						
Abscisa		Longitud (m)	RQD	Q	Calidad Tipo	
Desde	Hasta		Valor	Valor		
0+582,00	0+607,50	25,50	24,00	0,08	IV	Mala
0+833,70	0+844,00	10,30	27,00	0,09	IV	Mala
0+906,20	0+912,00	5,80	34,00	0,09	IV	Mala
0+928,20	0+935,00	6,80	30,00	0,10	IV	Mala
0+979,00	1+009,50	30,50	29,00	0,09	IV	Mala
1+052,00	1+087,30	35,30	31,00	0,10	IV	Mala
1+106,20	1+121,50	15,30	34,00	0,25	IV	Mala
1+158,00	1+198,90	40,90	37,00	0,50	IV	Mala
1+848,10	1+873,20	25,10	24,00	0,08	IV	Mala
1+925,90	1+987,20	61,30	32,00	0,15	IV	Mala
2+312,50	2+347,80	35,30	33,00	0,20	IV	Mala
2+371,20	2+428,00	56,80	30,00	0,15	IV	Mala
2+452,80	2+476,80	24,00	33,00	0,20	IV	Mala
2+552,45	2+560,45	8,00	37,00	0,50	IV	Mala
2+595,90	2+604,05	8,15	24,00	0,08	IV	Mala
2+615,10	2+618,00	2,90	34,00	0,30	IV	Mala
2+624,70	2+663,85	39,15	32,00	0,10	IV	Mala
2+666,40	2+670,10	3,70	33,00	0,30	IV	Mala
2+730,10	2+731,90	1,80	31,00	0,10	IV	Mala
2+749,50	2+756,60	7,10	33,00	0,30	IV	Mala
2+865,90	2+894,27	28,37	36,00	0,05	IV	Mala
		472,07				

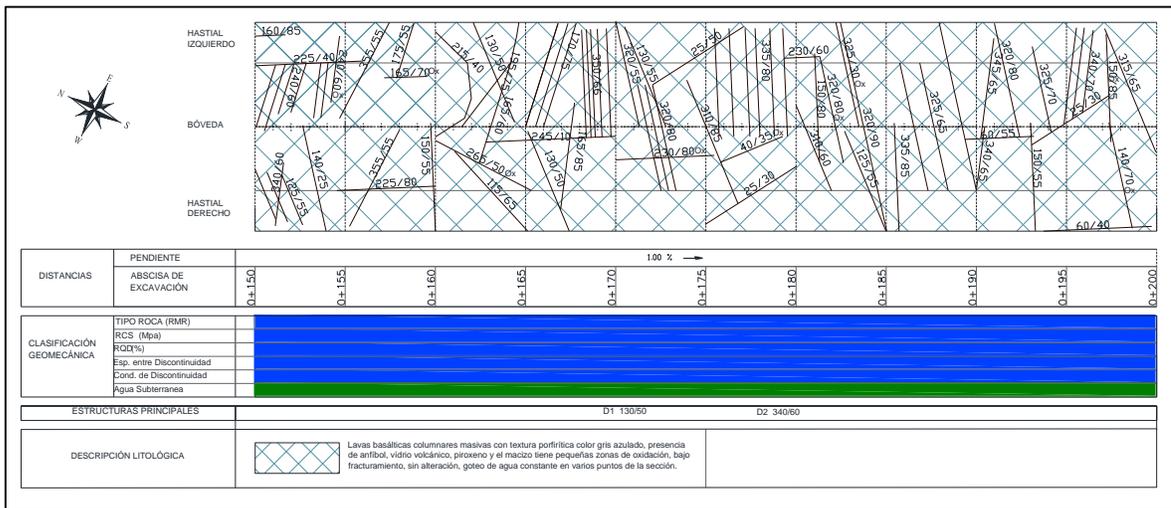
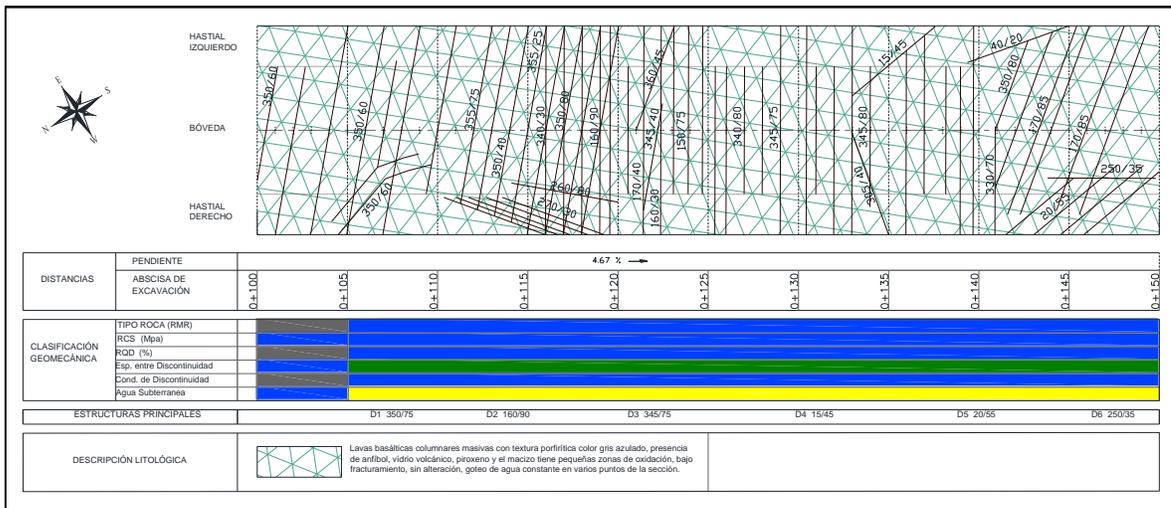
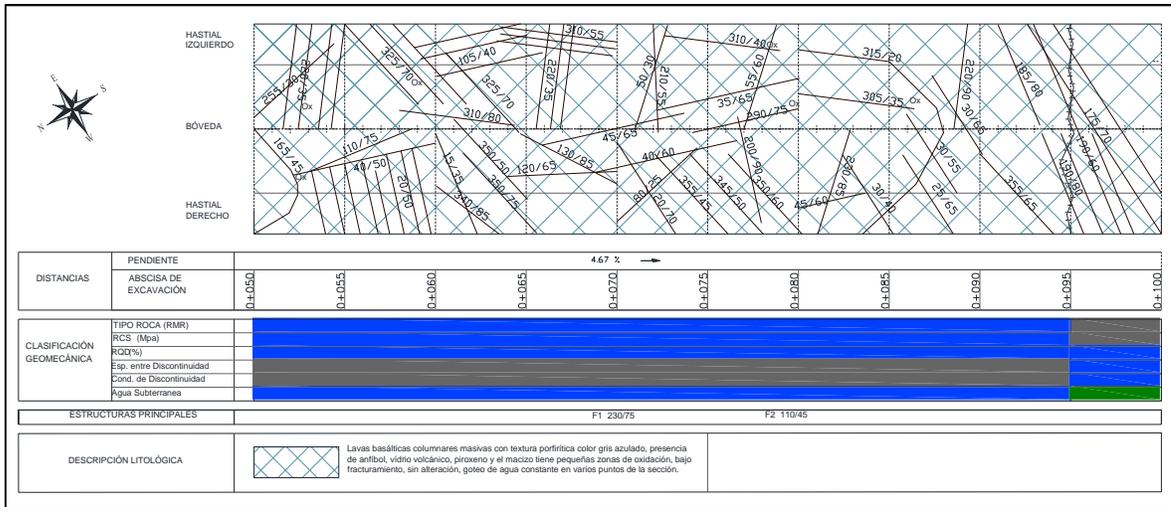
Cuadro 34: Clasificación Calidad Tipo V

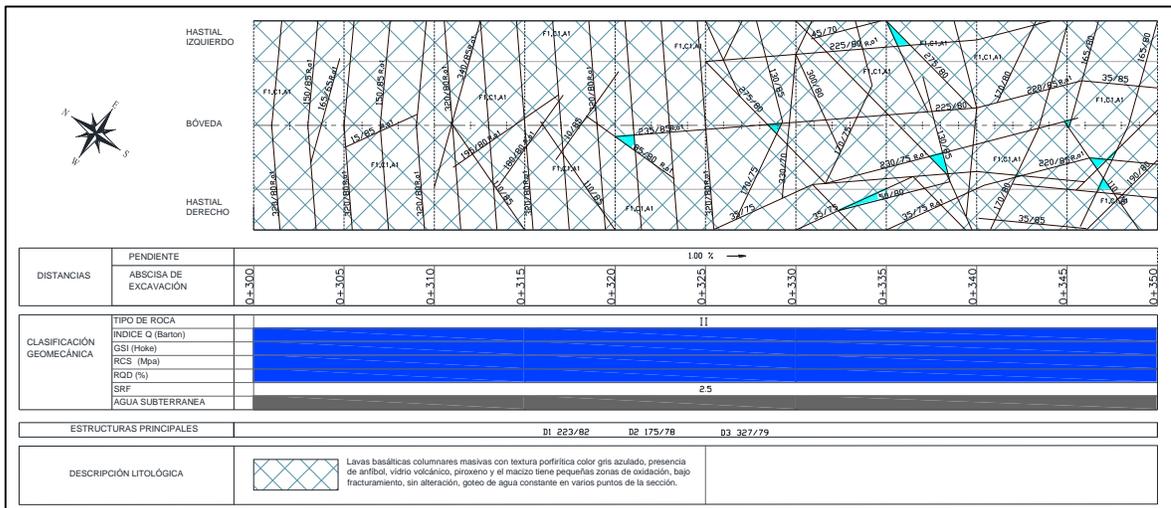
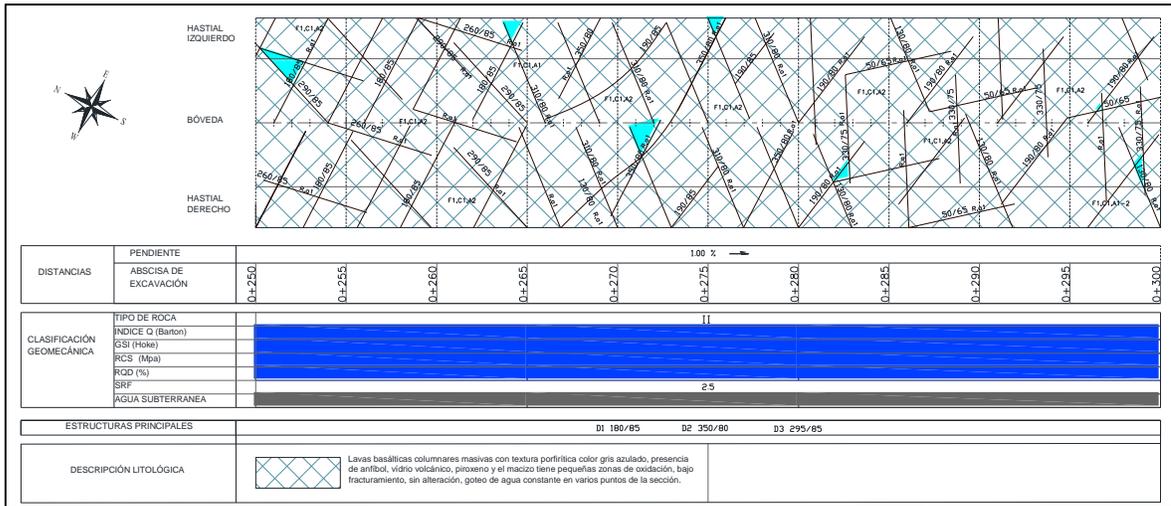
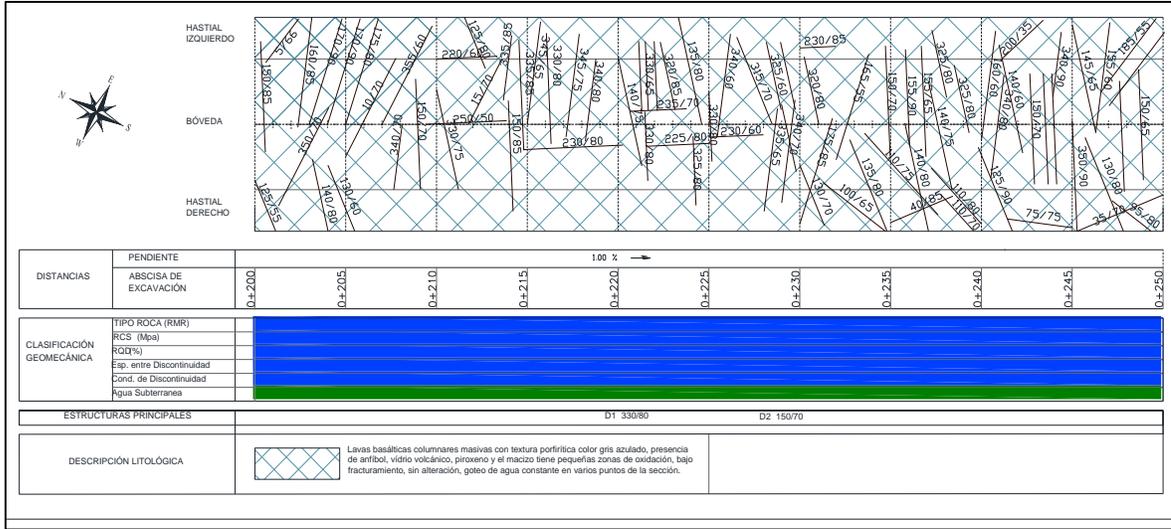
PROYECTO HIDROÉLECTRICO QUIJOS						
CLASIFICACION GEOLOGICA-GEOTECNICA						
Abscisa		Longitud (m)	RQD	Q	Calidad Tipo	
Desde	Hasta		Valor	Valor		
0+000,00	0+020,00	20,00	15,00	0,05	V	Muy mala
0+607,50	0+833,70	226,20	10,00	0,01	V	Muy mala
0+855,30	0+906,20	50,90	8,00	0,01	V	Muy mala
0+935,00	0+979,00	44,00	16,00	0,03	V	Muy mala
1+009,50	1+052,00	42,50	15,00	0,03	V	Muy mala
1+087,30	1+106,20	18,90	14,00	0,02	V	Muy mala
1+121,50	1+158,00	36,50	17,00	0,04	V	Muy mala
2+428,00	2+452,80	24,80	18,00	0,04	V	Muy mala
2+560,45	2+595,90	35,45	15,00	0,03	V	Muy mala
		499,25				

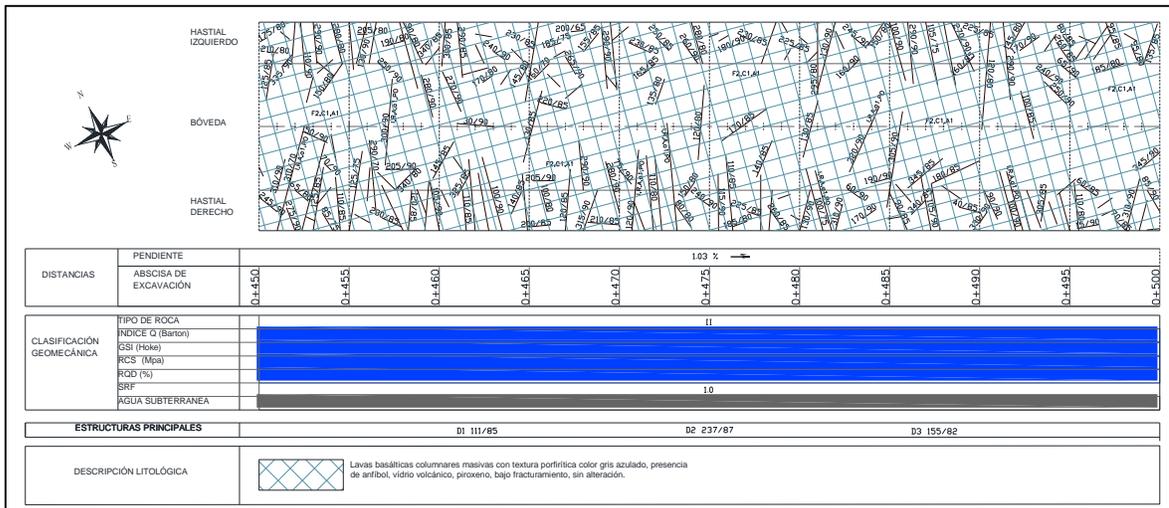
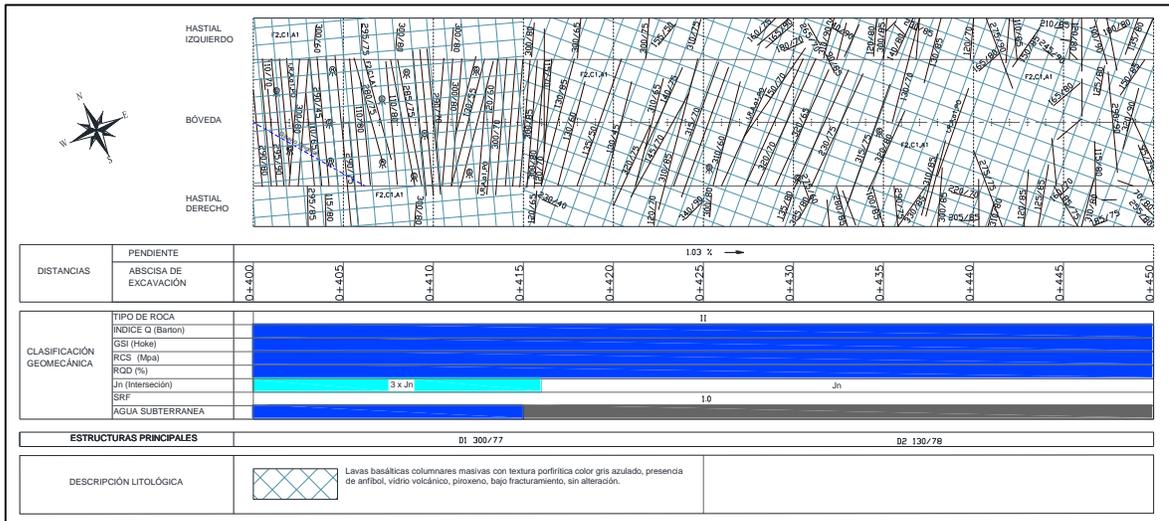
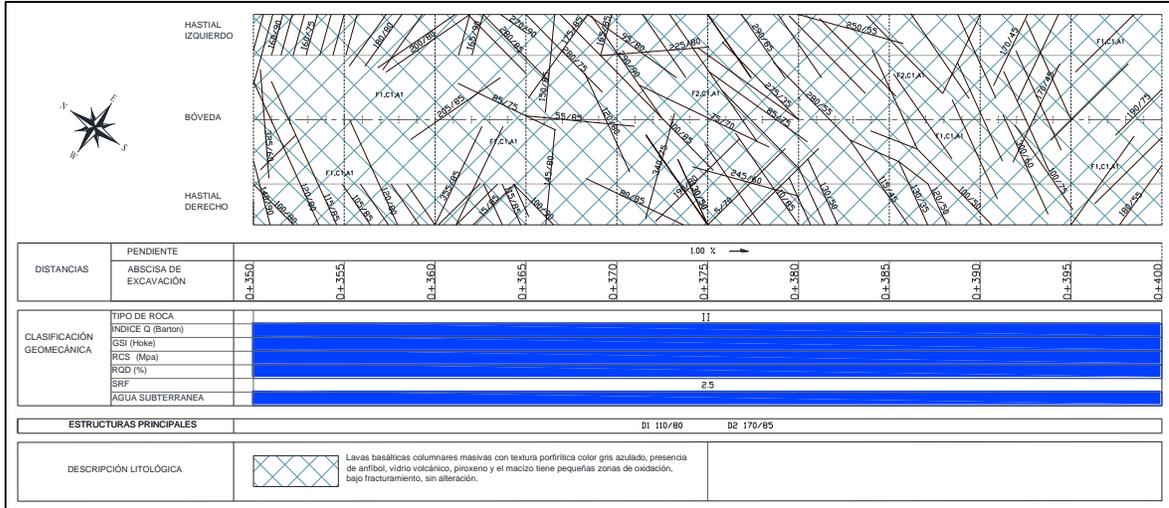
Elaborado: Martha Tigre

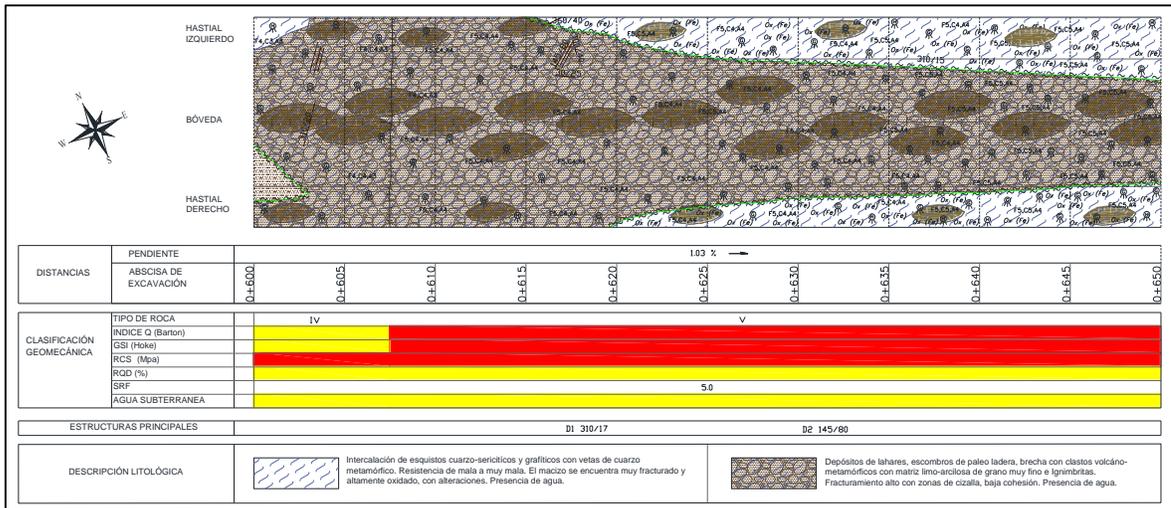
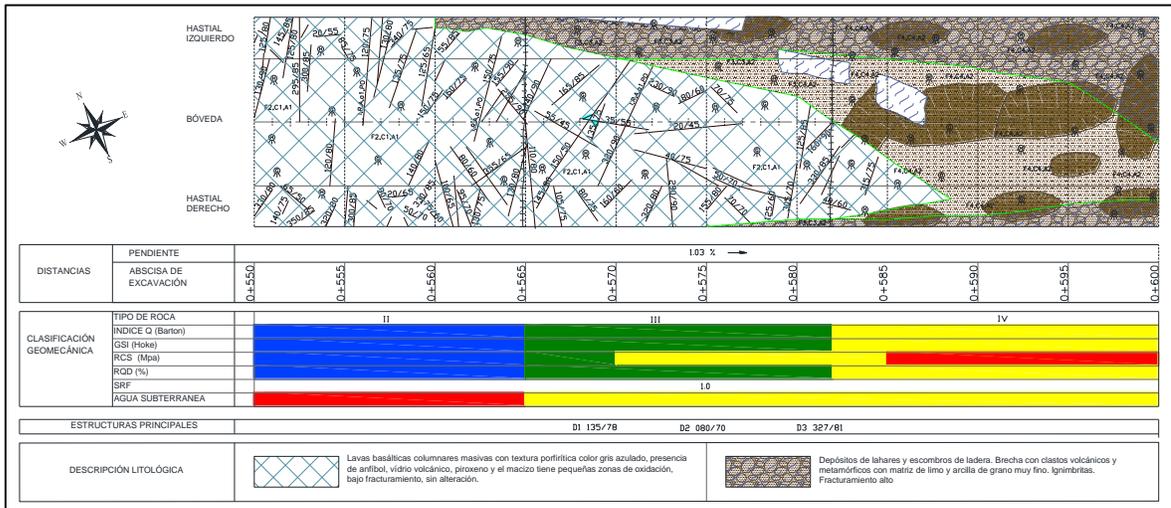
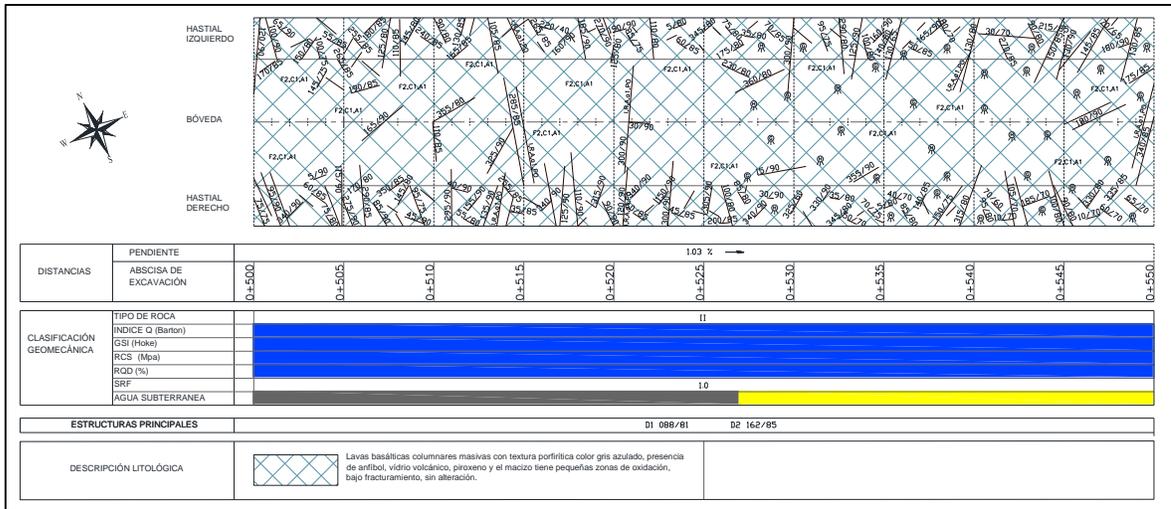
Gráfico 27: Planos Finales de Excavación abscisas desde 0+000,00 hasta 0+900 y desde 2+250 hasta 2+894,27

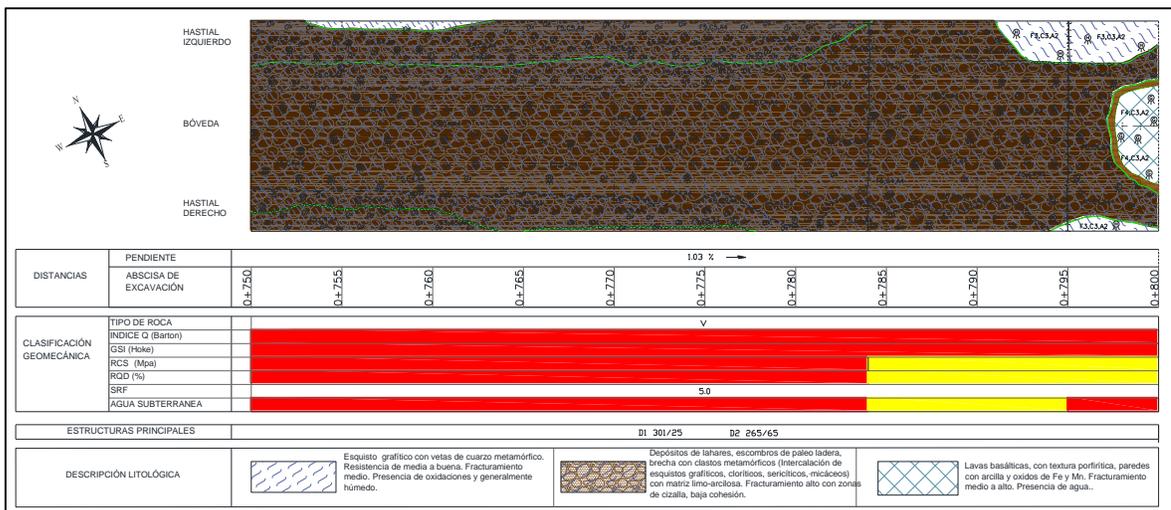
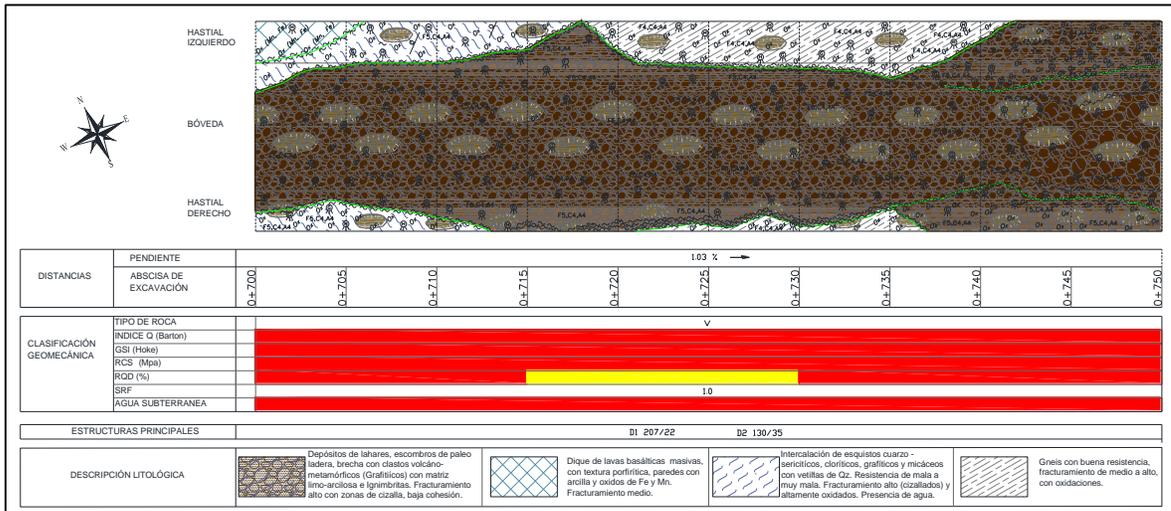
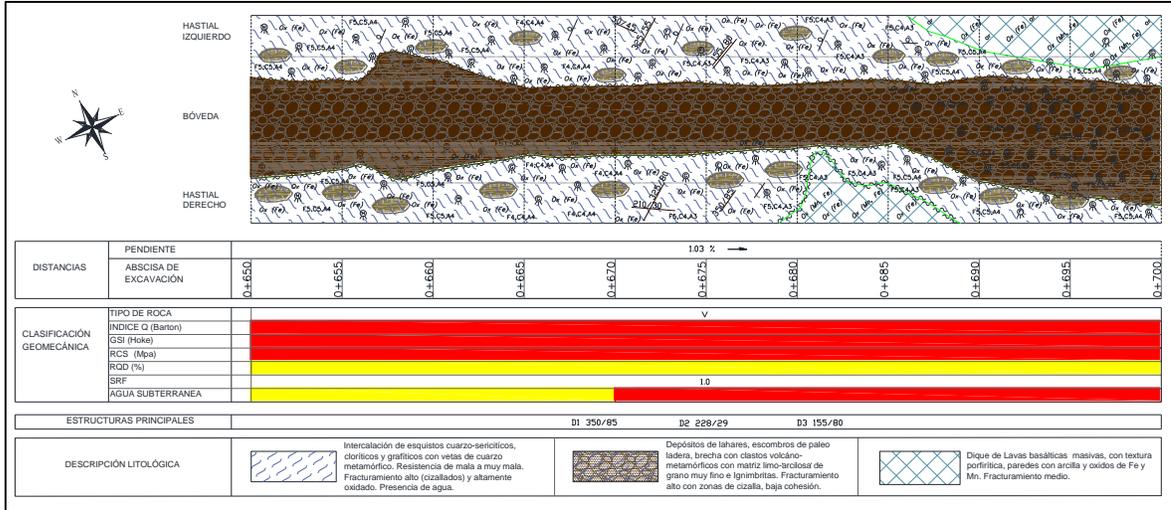


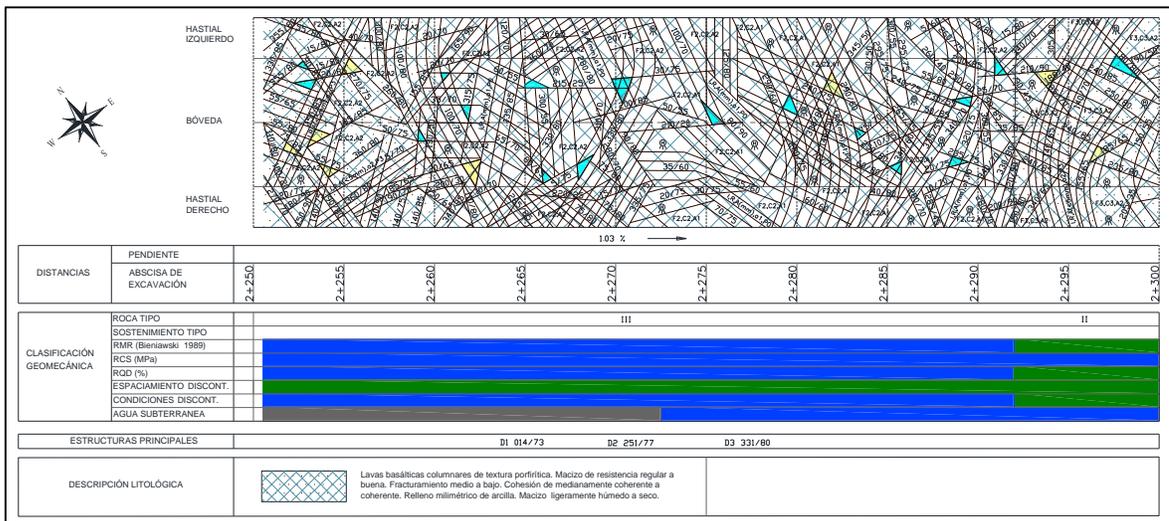
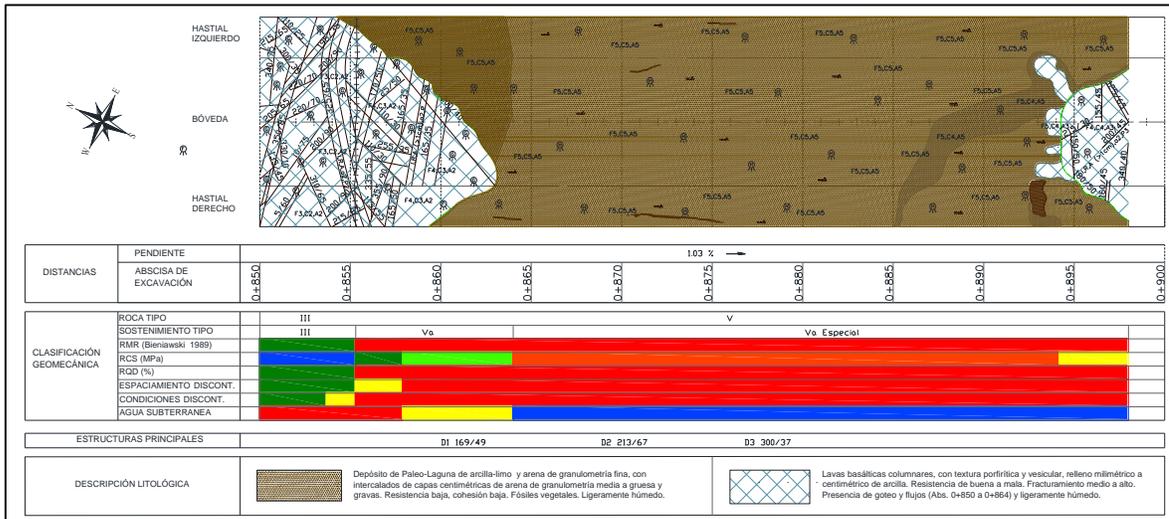
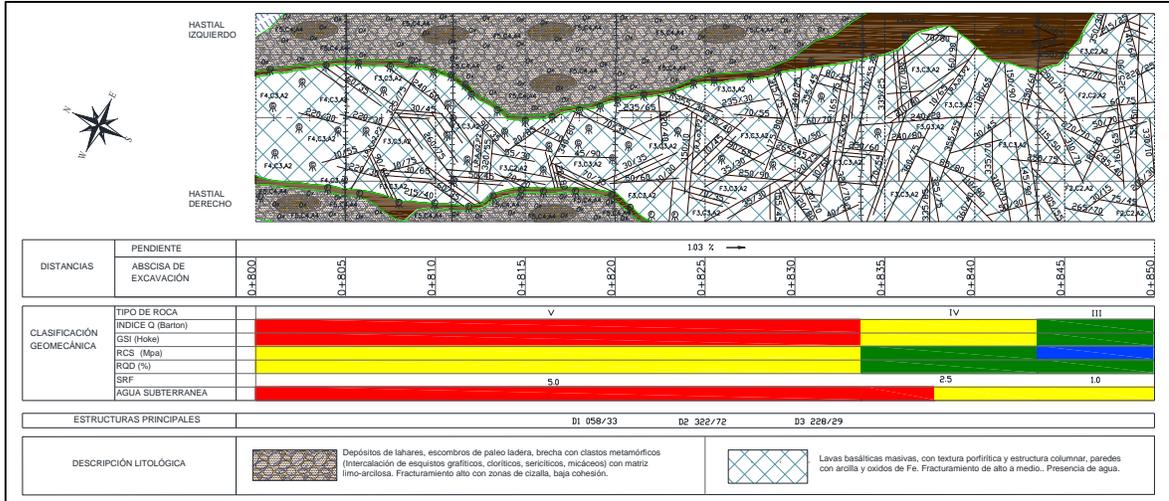


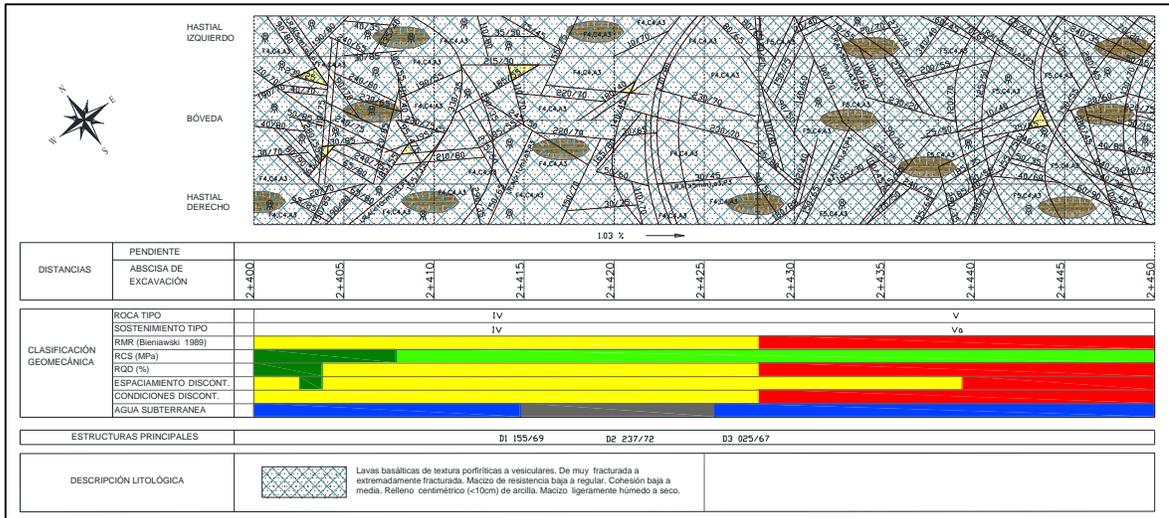
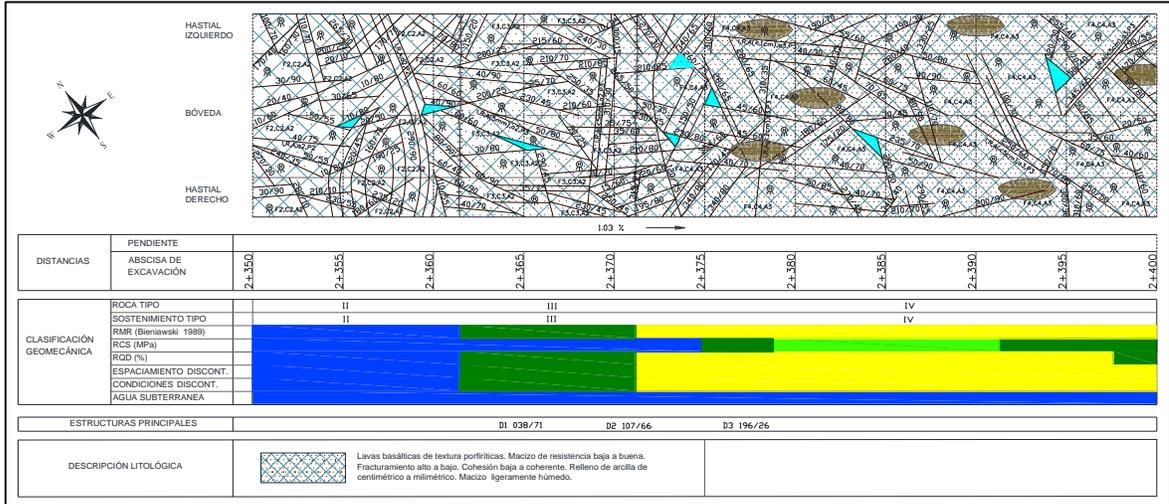
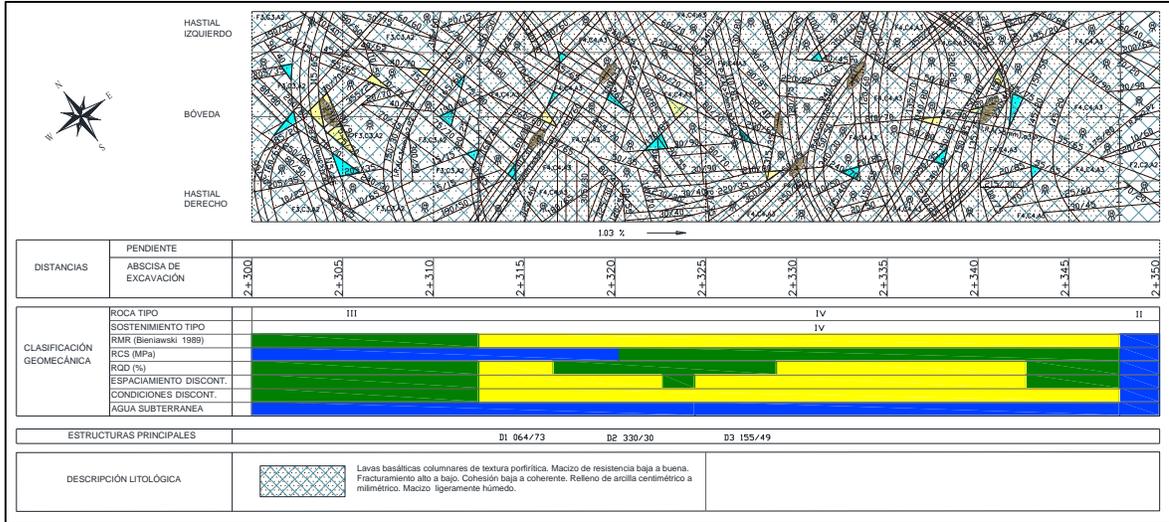


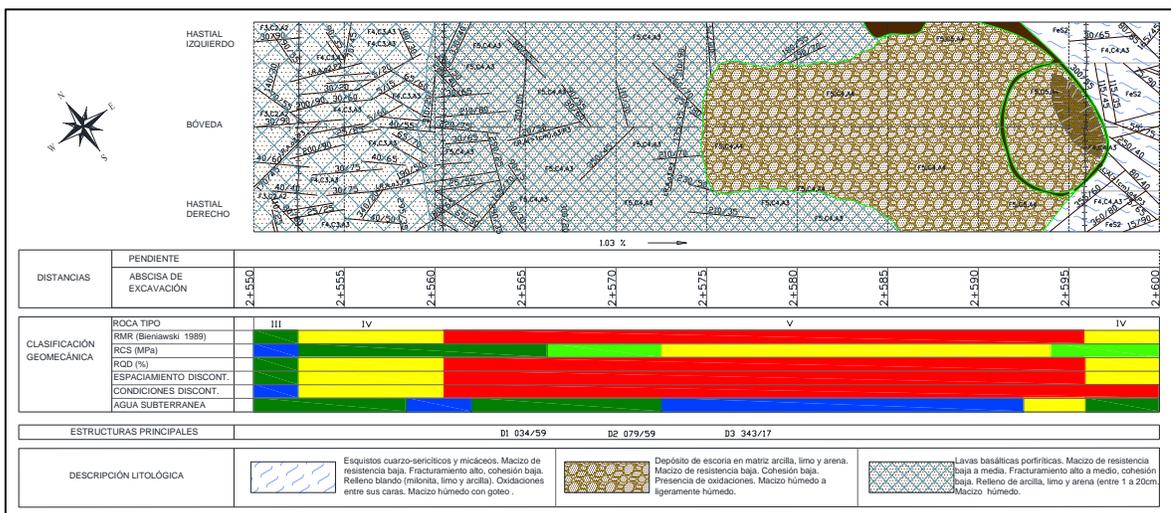
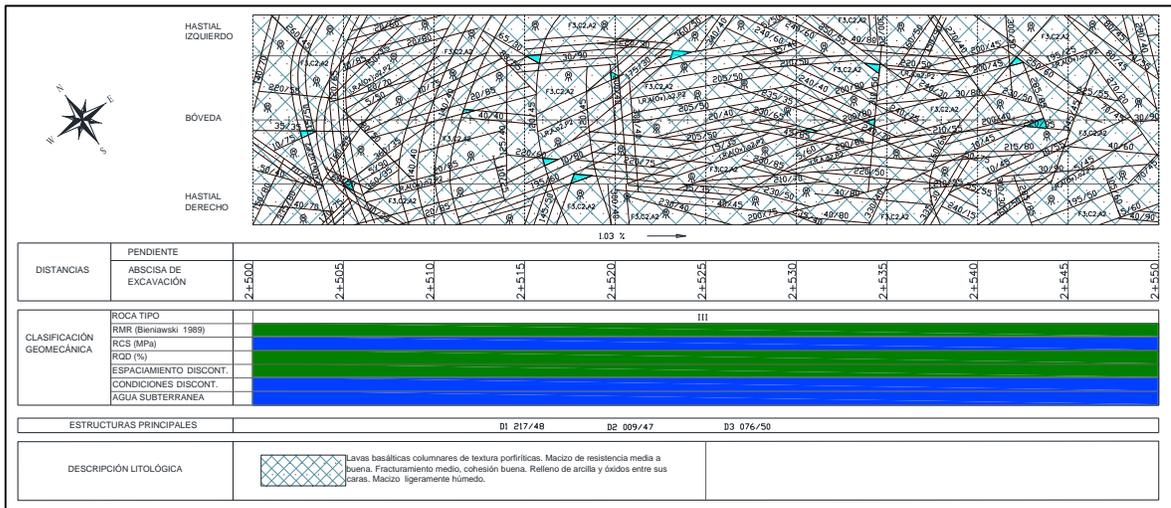
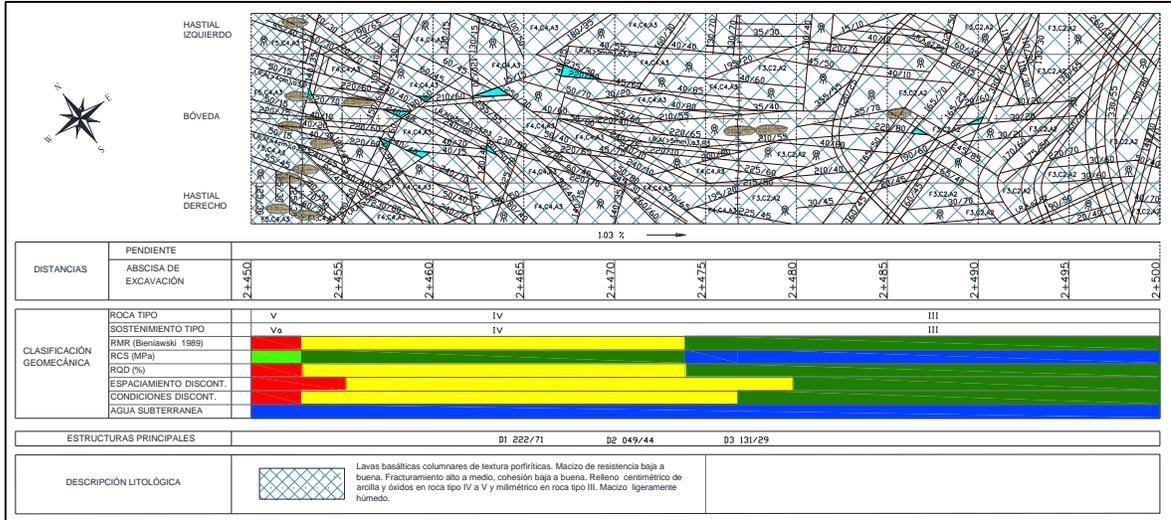


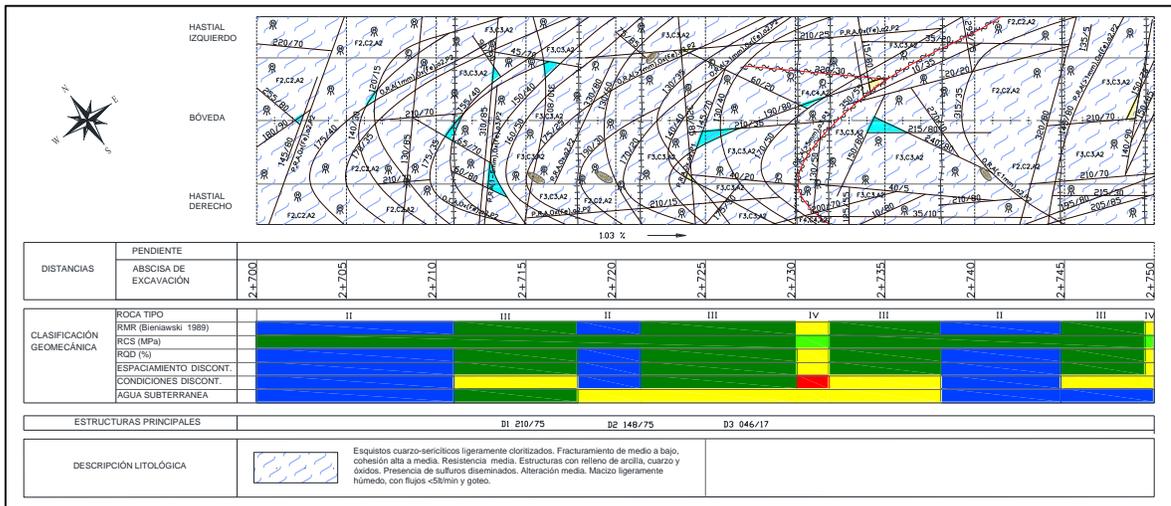
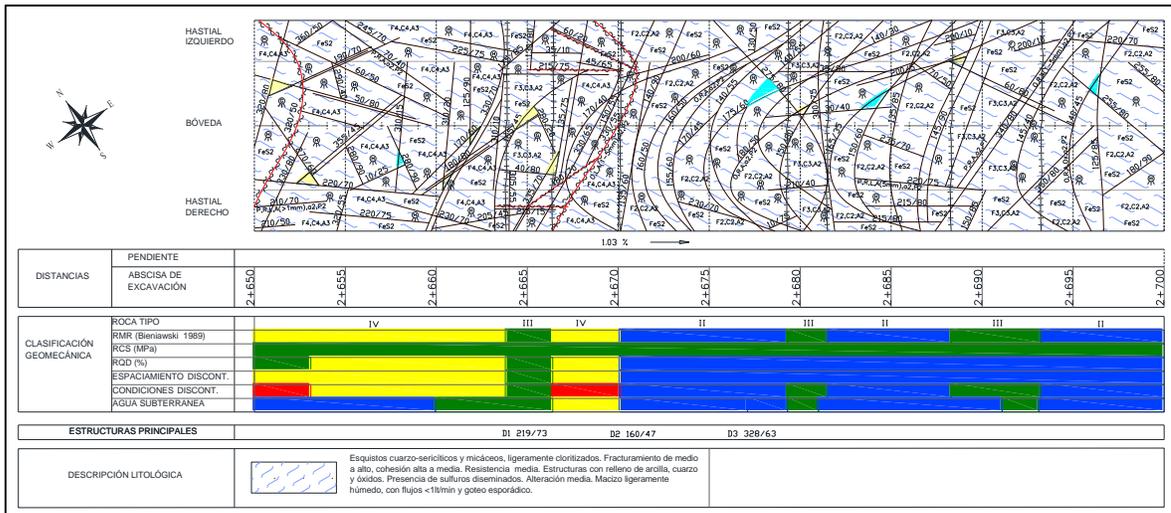
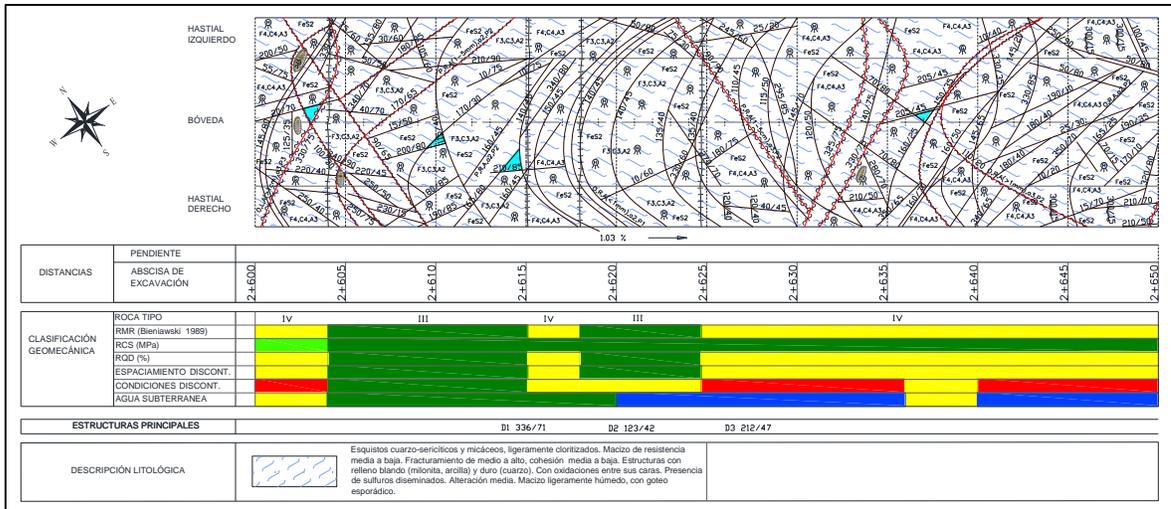


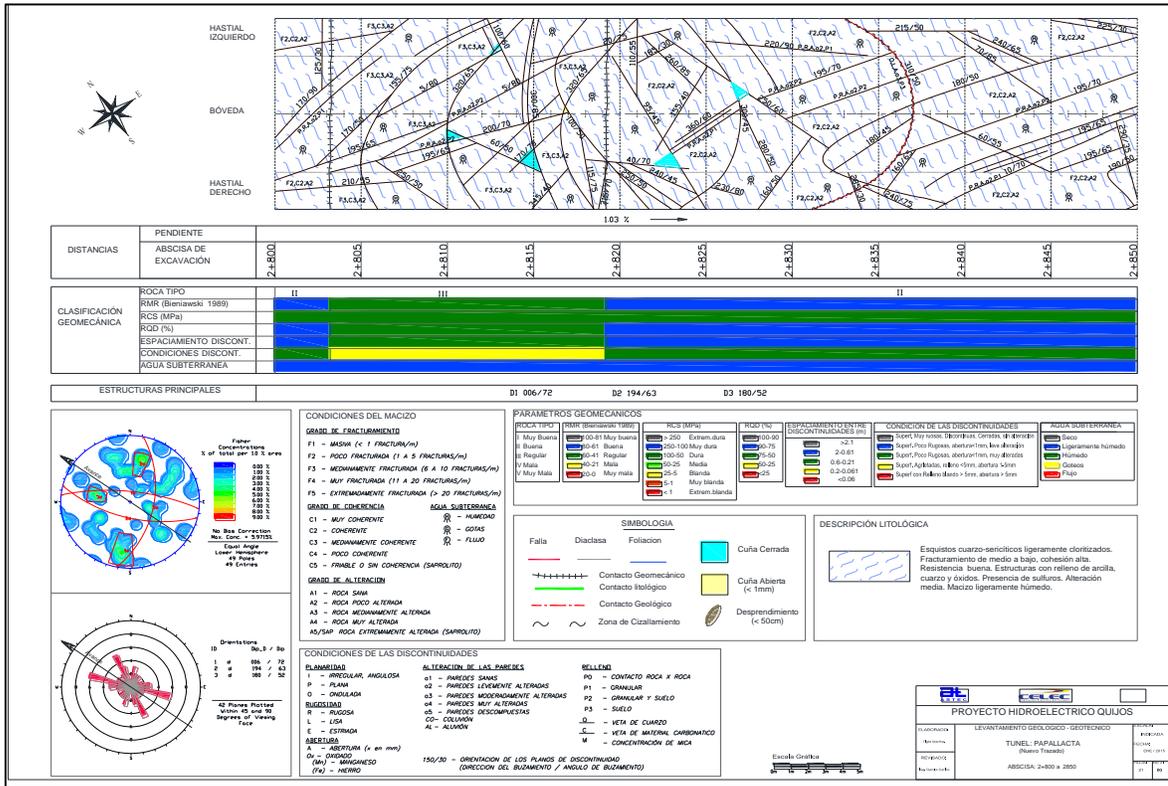
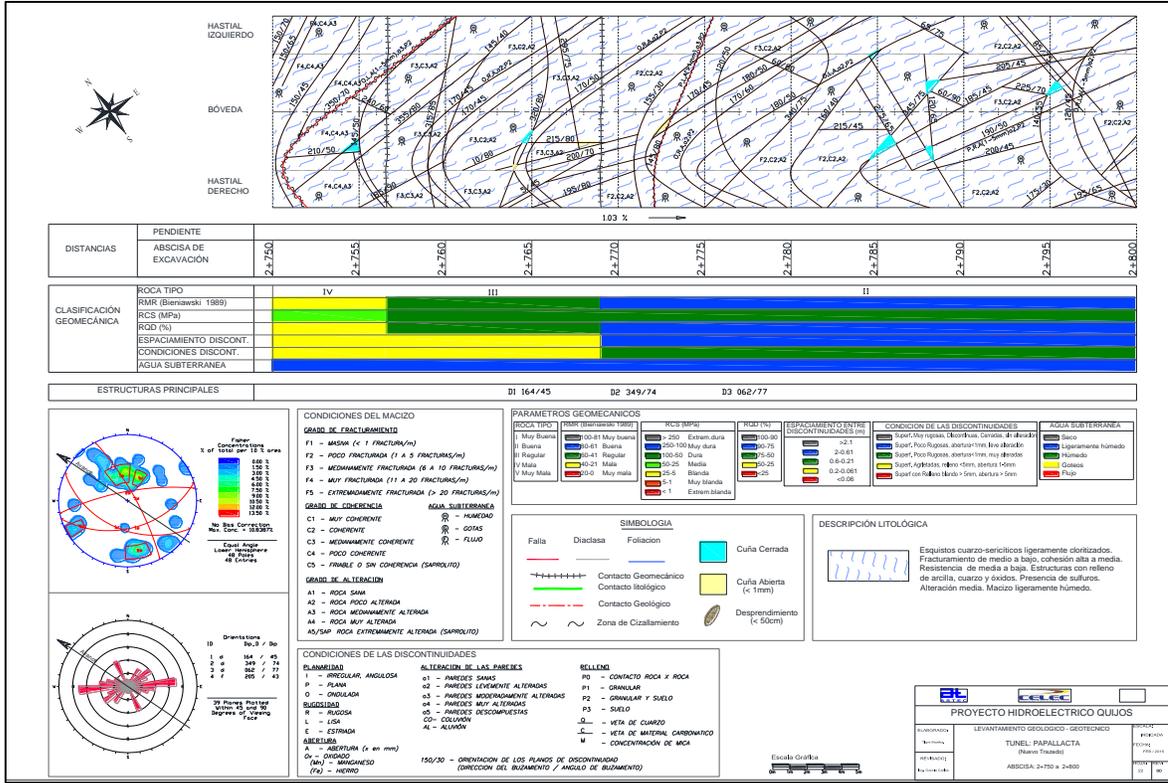


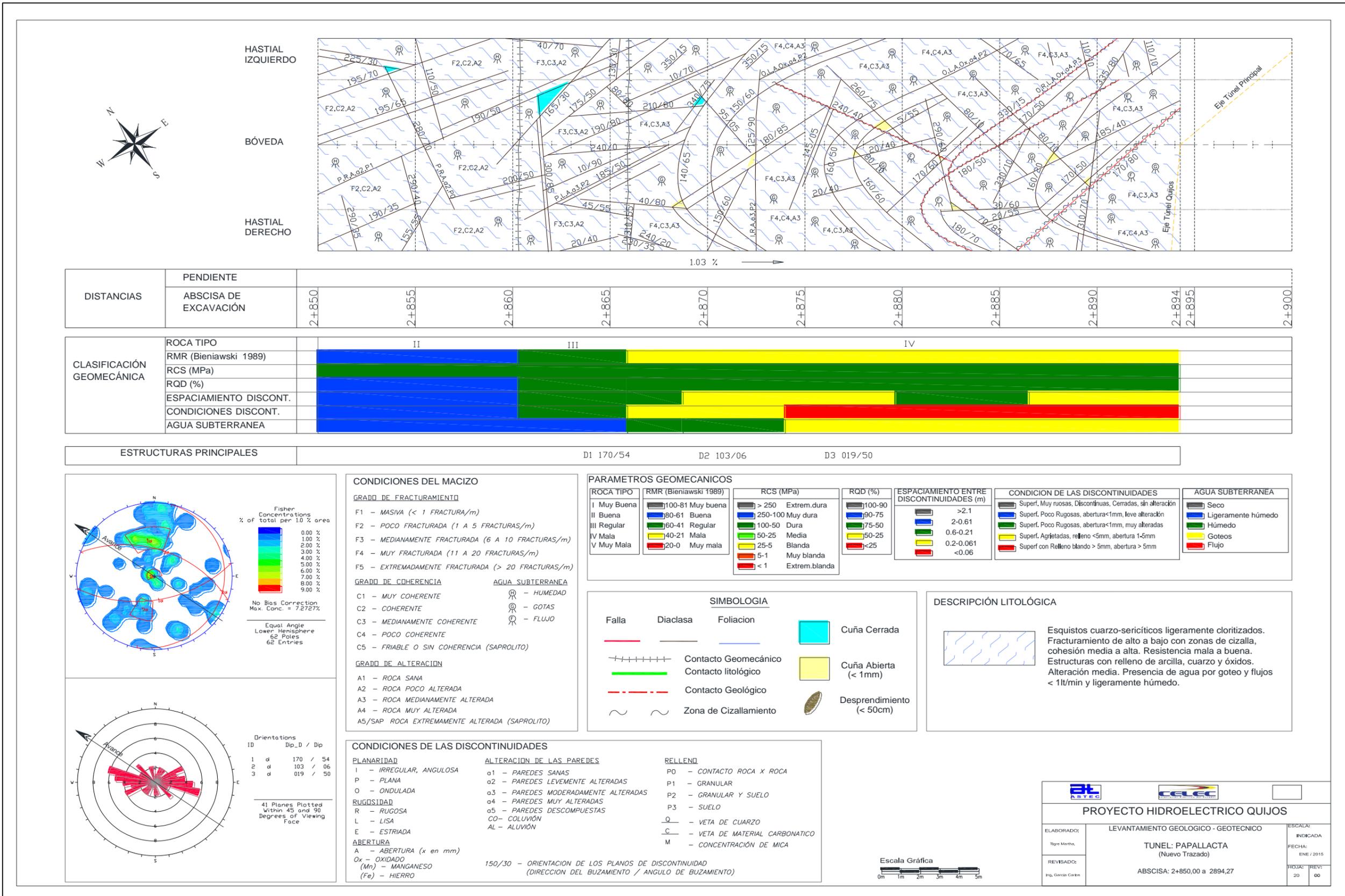












Fisher Concentrations

% of total per 10° area

No Bias Correction
Max. Conc. = 7.2727%

Equal Angle
Lower Hemisphere
62 Poles
62 Entries

Orientations

Dip_D / Dip

1	d	170	/	54
2	d	103	/	06
3	d	019	/	50

41 Planes Plotted
Within 45 and 90
Degrees of Viewing
Face

ESCALA GRÁFICA

0m 1m 2m 3m 4m 5m

PROYECTO HIDROELECTRICO QUIJOS

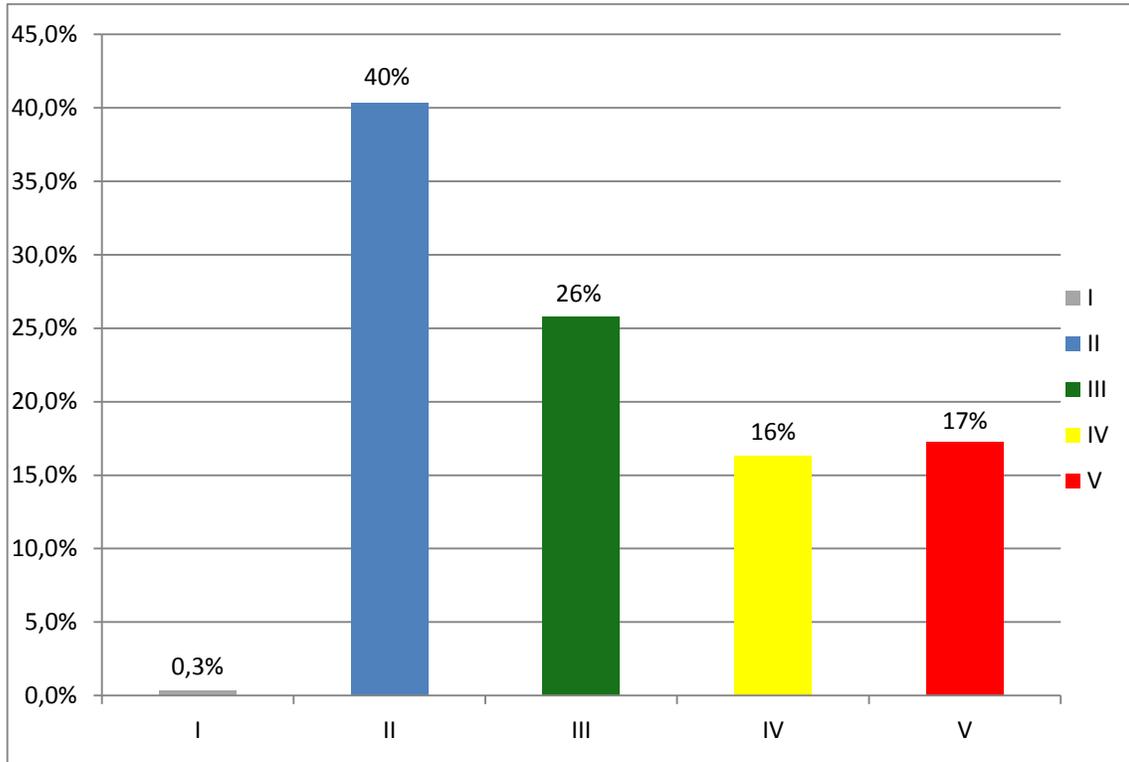
ELABORADO: Tigre Martha
 REVISADO: Ing. García Carlin

LEVANTAMIENTO GEOLOGICO - GEOTECNICO
TUNEL: PAPALLACTA
 (Nuevo Trazado)
 ABCISCA: 2+850,00 a 2894,27

ESCALA: INDICADA
 FECHA: ENE / 2015
 HOJAS: 20
 REV: 00

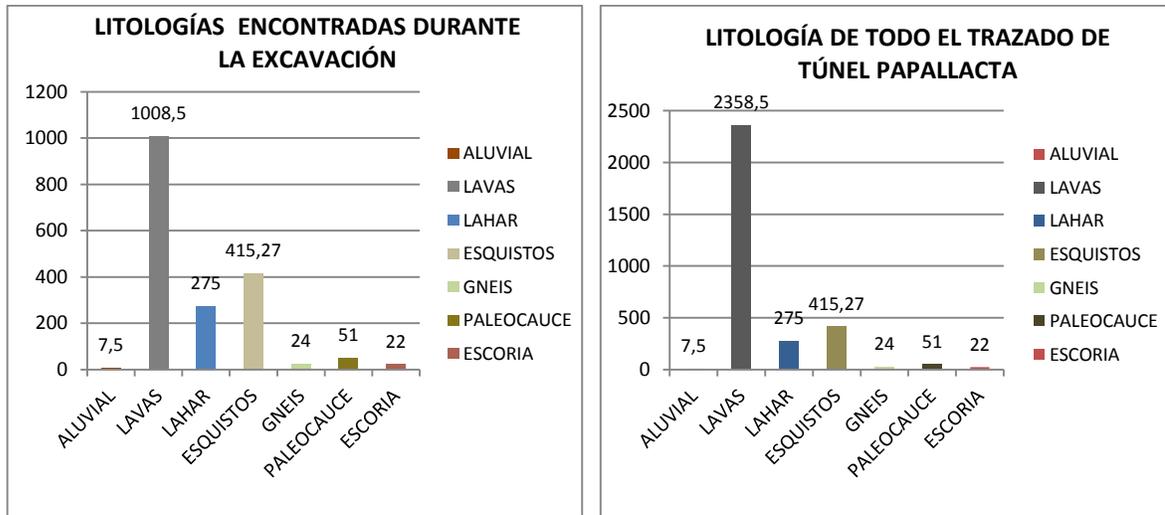
Elaborado por: Martha Tigre

Gráfico 28: Porcentaje de la clase de roca según la clasificación geomecánica



Elaborado por: Martha Tigre

Gráfico 29: Litologías de túnel Papallacta



Elaborado por: Martha Tigre

3. Tipo de sostenimiento

El tipo de sostenimiento a instalarse debe estar conforme a la calidad del macizo rocoso, valor determinado de la clasificación geológica-geotécnica realizada en el campo. El sostenimiento que se ha instalado en el túnel fue diseñado por Lombardi con base a estudios geotécnicos y cálculos estructurales realizados previamente, quienes realizaron varias visitas al proyecto para conocer la litología y el comportamiento del macizo rocoso.

Debido a que las condiciones del macizo rocoso son muy heterogéneas y con el objetivo de mantener la sección, evitar desprendimientos y garantizar seguridad al personal y maquinaria que labora en el túnel, el sostenimiento diseñado puede ser modificado.

Las modificaciones de los diseños serán realizadas por profesionales de experiencia que conozcan las características y comportamiento de la roca en el área del proyecto para que puedan garantizar el funcionamiento del soporte a instalarse y estabilizar el macizo.

El sostenimiento diseñado para cada calidad de macizo rocoso es:

a. Sostenimiento para calidad tipo I

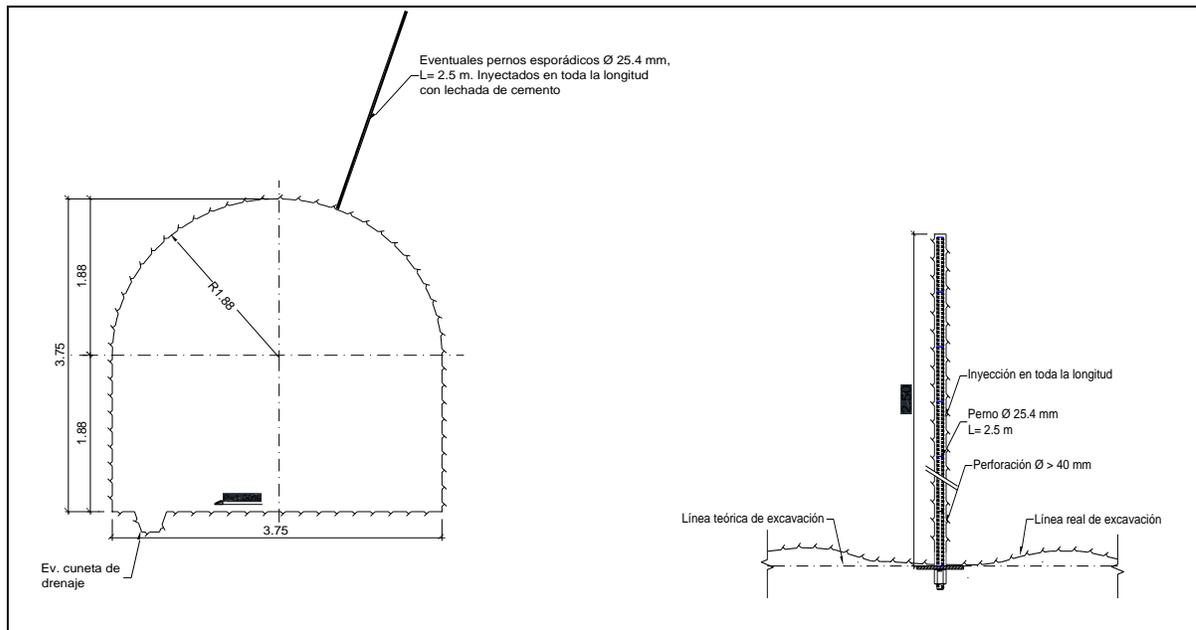
En la sección I, las condiciones de calidad son muy buenas y el macizo se encuentra sano, no degradado y compactado en forma masiva.

El puntaje que debería tener la clasificación es:

RMR = 81 a 100 (Bieniawski 1989)

Q = 1000 a 54,60 (Índice Q d Barton)

1. Colocación eventual de anclajes (Pernos pasivos inyectados) esporádicos. El encargado de indicar los puntos donde es necesario instalarse los pernos de anclaje es el geólogo.
2. Ejecución de eventuales drenajes donde fuera necesario en base a indicación del geólogo.

Gráfico 30: Diseño de sostenimiento para calidad tipo I**Fuente:** ASTEC**b. Sostenimiento para calidad tipo II**

La sección II se configura en la presencia del macizo rocoso sano y poco alterado, caracterizada por la estratificación, superficies pocos rugosas, aberturas < 1mm y ligeras fracturas.

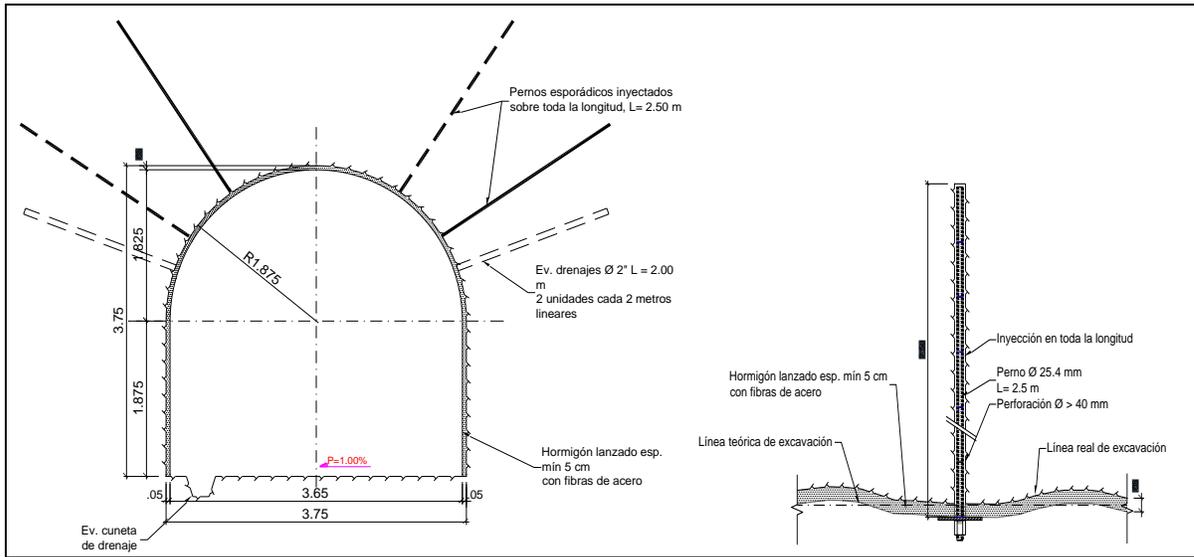
El puntaje que debería tener la clasificación es:

RMR = 61-80 (Bieniawski 1989)

Q = 54,59 a 5,92 (Índice Q de Barton)

1. Se coloca una capa de hormigón lanzado con espesor de 5cm.
2. Anclajes (Pernos pasivos inyectados) esporádicos, según las indicaciones del geólogo.
3. Ejecución de eventuales drenajes donde fuera necesario en base a la indicación del geólogo.

Gráfico 31: Diseño de sostenimiento para calidad tipo II



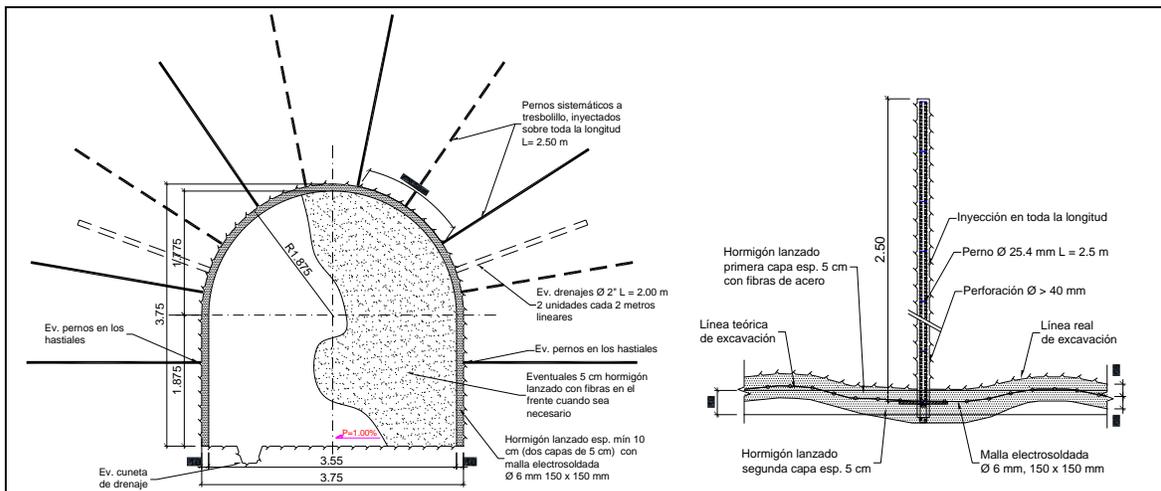
Fuente: ASTEC

c. Sostenimiento para calidad tipo III

La sección tipo III se refiere a las condiciones de roca medianamente fracturada con discontinuidad suave, superficie poco rugosa, moderadamente alterada y relleno de material fino. El puntaje que debería tener la clasificación es:

RMR = 41 a 60 (Bieniawski), $Q = 5.915$ a 0.642 (Índice Q de Barton)

Gráfico 32: Diseño de sostenimiento para roca tipo III



1. Primero se coloca una capa de hormigón lanzado de 5cm. En el frontón se aplicara cuando sea necesario.
2. Malla electrosoldada.
3. Anclajes (Pernos pasivos inyectados) Sistemáticos
4. Segunda capa de hormigón lanzado con espesor de 5 cm con cobertura del cabezal de los pernos.
5. Ejecución de eventuales donde fuera necesario drenajes conforme las indicaciones del geólogo.

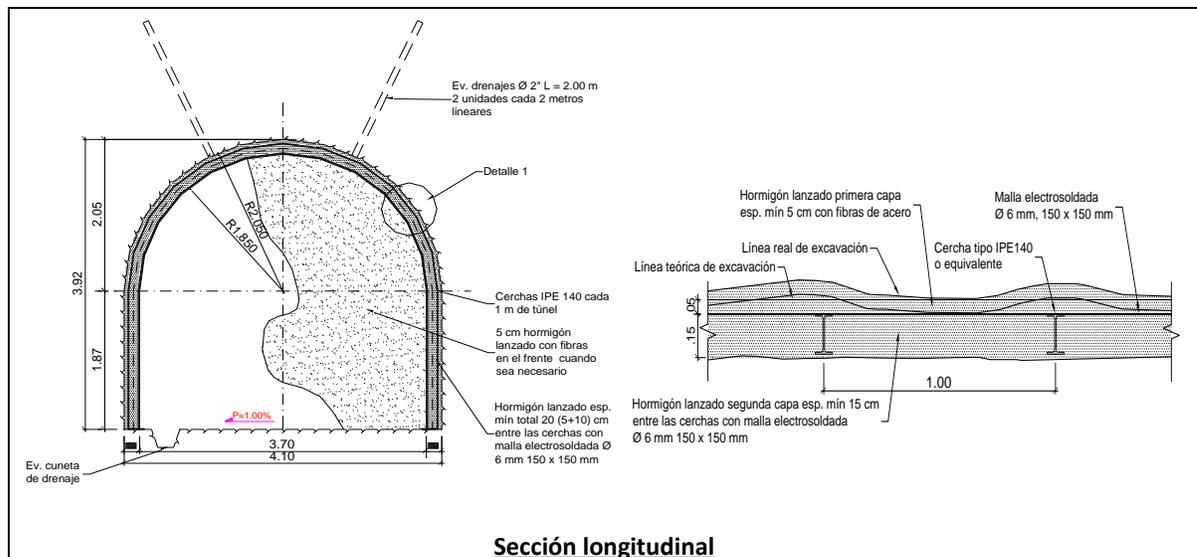
d. Sostenimiento para calidad tipo IV

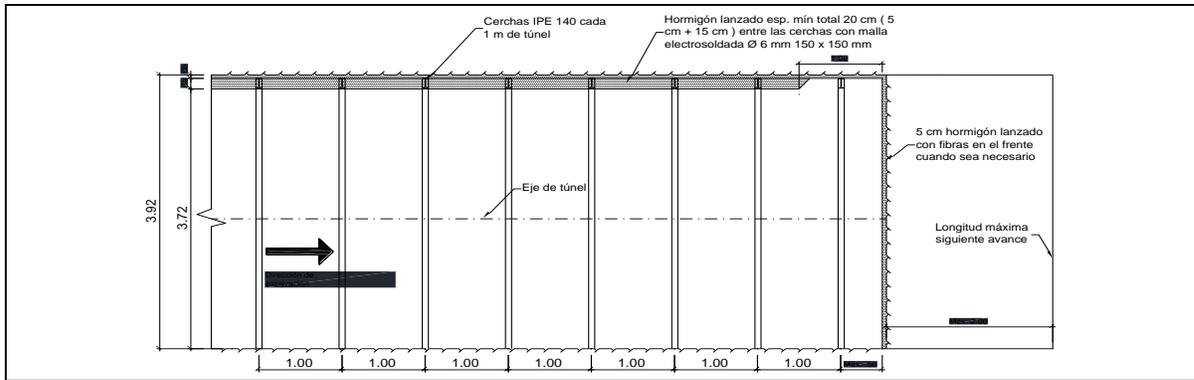
En esta sección se representan las rocas con superficies agrietadas, relleno < 5mm, depósitos sedimentarios muy alterados, aluviales y lacustres con débil cementación. El puntaje que debería tener la clasificación es:

RMR = 21 a 40 (Bieniawski)

Q = 0.641 a 0.0695 (Índice Q de Barton)

Gráfico 33: Diseño de sostenimiento para calidad tipo IV





Fuente: ASTEC

1. Primera capa de hormigón lanzado con espesor de 5 cm con 35kg/m³ de fibras de acero, debe ser aplicada hasta el frente.
2. Colocación de malla electrosoldada.
 1. Instalación de cerchas a 1m cada una.
 2. Segunda capa de hormigón lanzado con espesor de 15 cm con cobertura de las cerchas
 3. Ejecución de eventuales drenajes.

e. Sostenimiento para calidad tipo Va (En Roca)

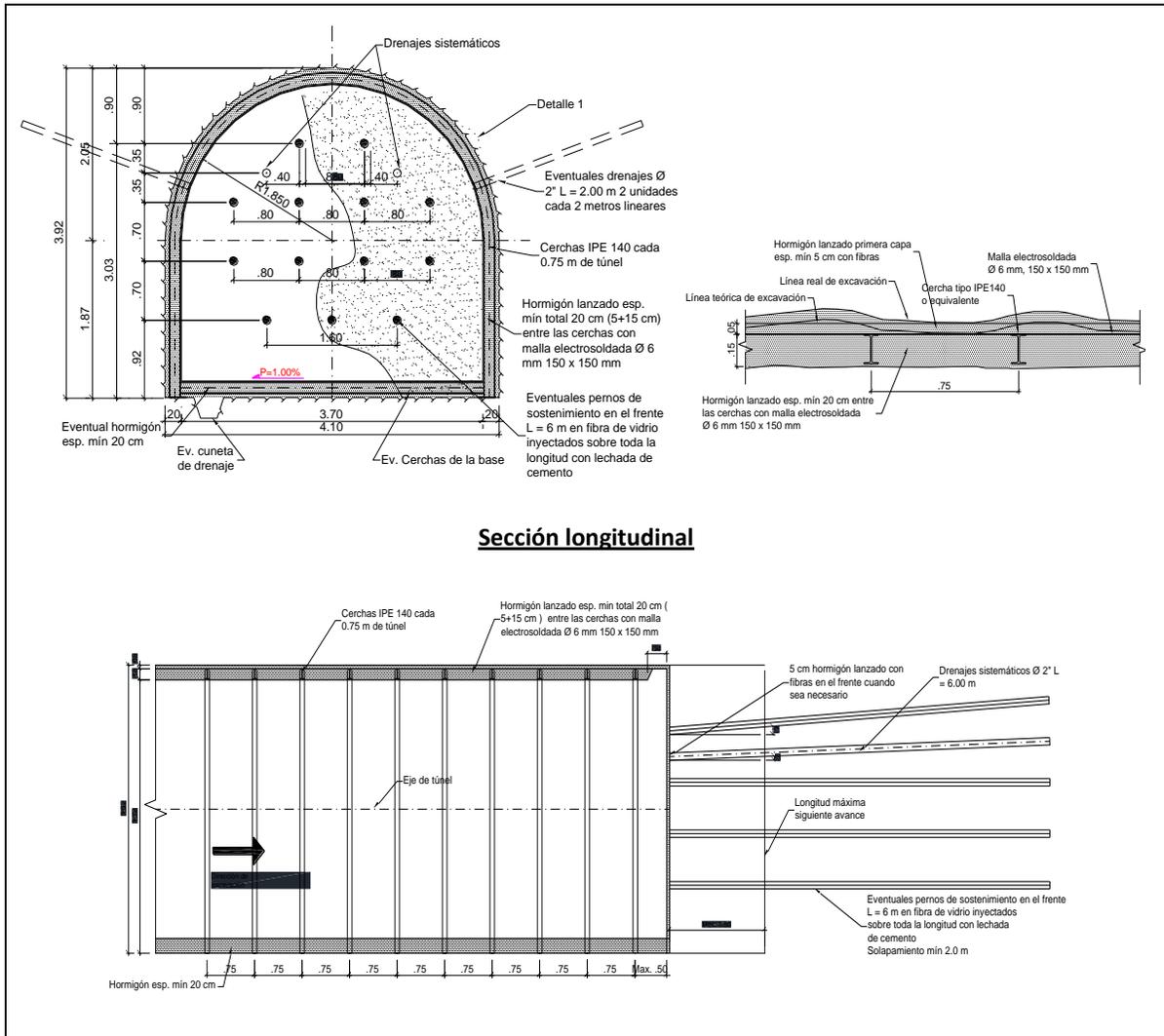
Esta condición es representativa de las capas de roca de lava y metamórficas muy alteradas. La longitud máxima de avance en este tipo de roca es de 1.5 m y el solapamiento mínimo de pernos del frente 3.0 m. El puntaje que debería tener la clasificación es:

RMR = < 20 (Bieniawski)

Q = 0.0694 a 0.001 (Índice Q de Barton)

1. Capa de hormigón lanzado con espesor de 5 cm con 35 kg/m³ de fibras de acero y debe ser aplicada hasta el frente.
2. Colocación de malla electrosoldada.
3. Instalación de cerchas
4. Segunda capa de hormigón lanzado con espesor de 15 cm con recubrimiento de las cerchas.
5. Colocación de los pernos pasivos y drenajes al frente cada 3 m de avance.
6. Ejecución de drenajes.

Gráfico 34: Diseño de sostenimiento para calidad tipo Va



Fuente: ASTEC

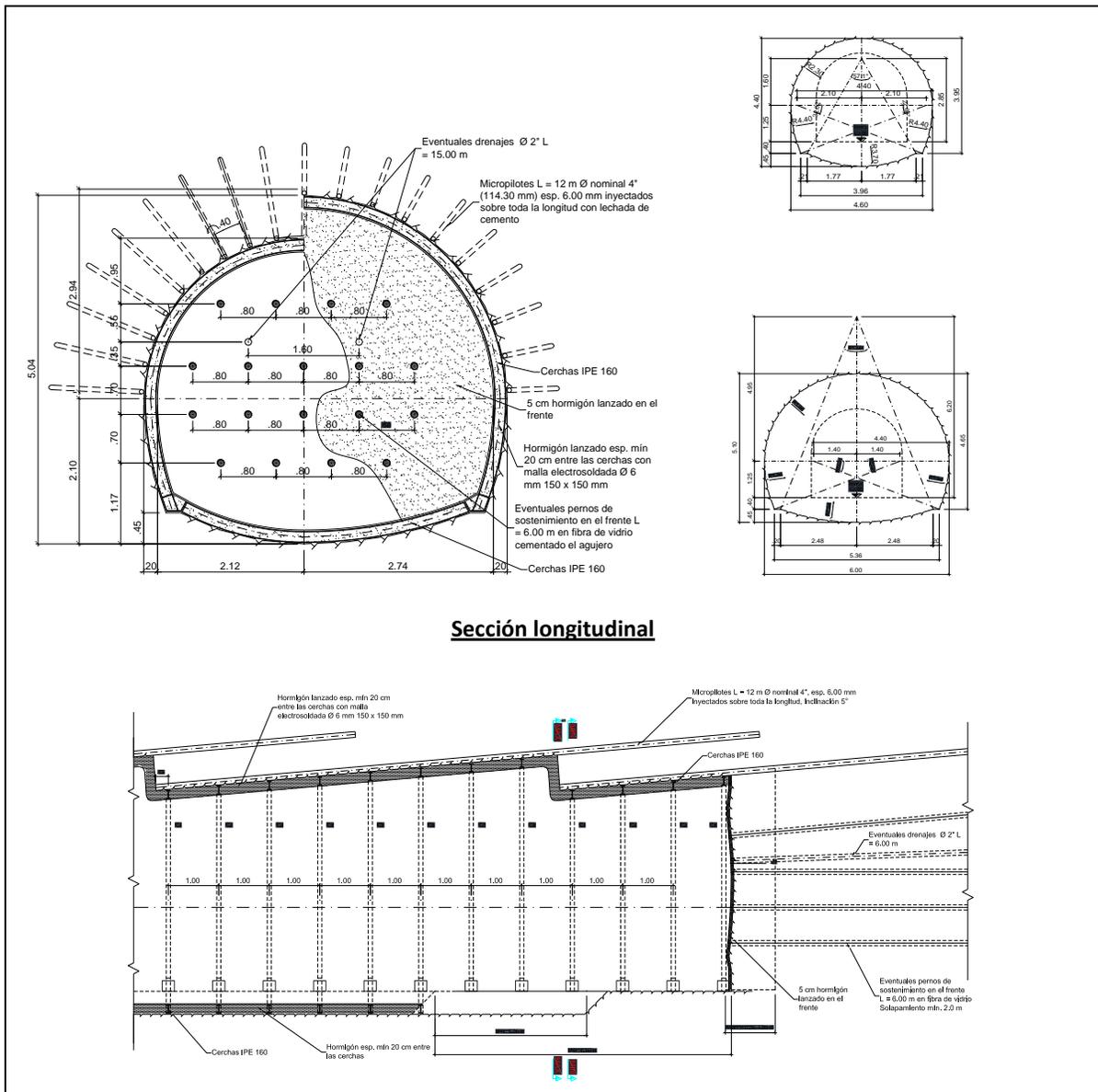
f. Sostenimiento para calidad tipo Vb (En material suelto)

La sección de excavación Vb es la aplicación de secciones de suelo o depósitos sedimentarios.

1. Primera capa de hormigón lanzado con espesor de 5 cm con 35 kg/m³ de fibras de acero.
2. Colocación de malla electrosoldada.
3. Instalación de cerchas.

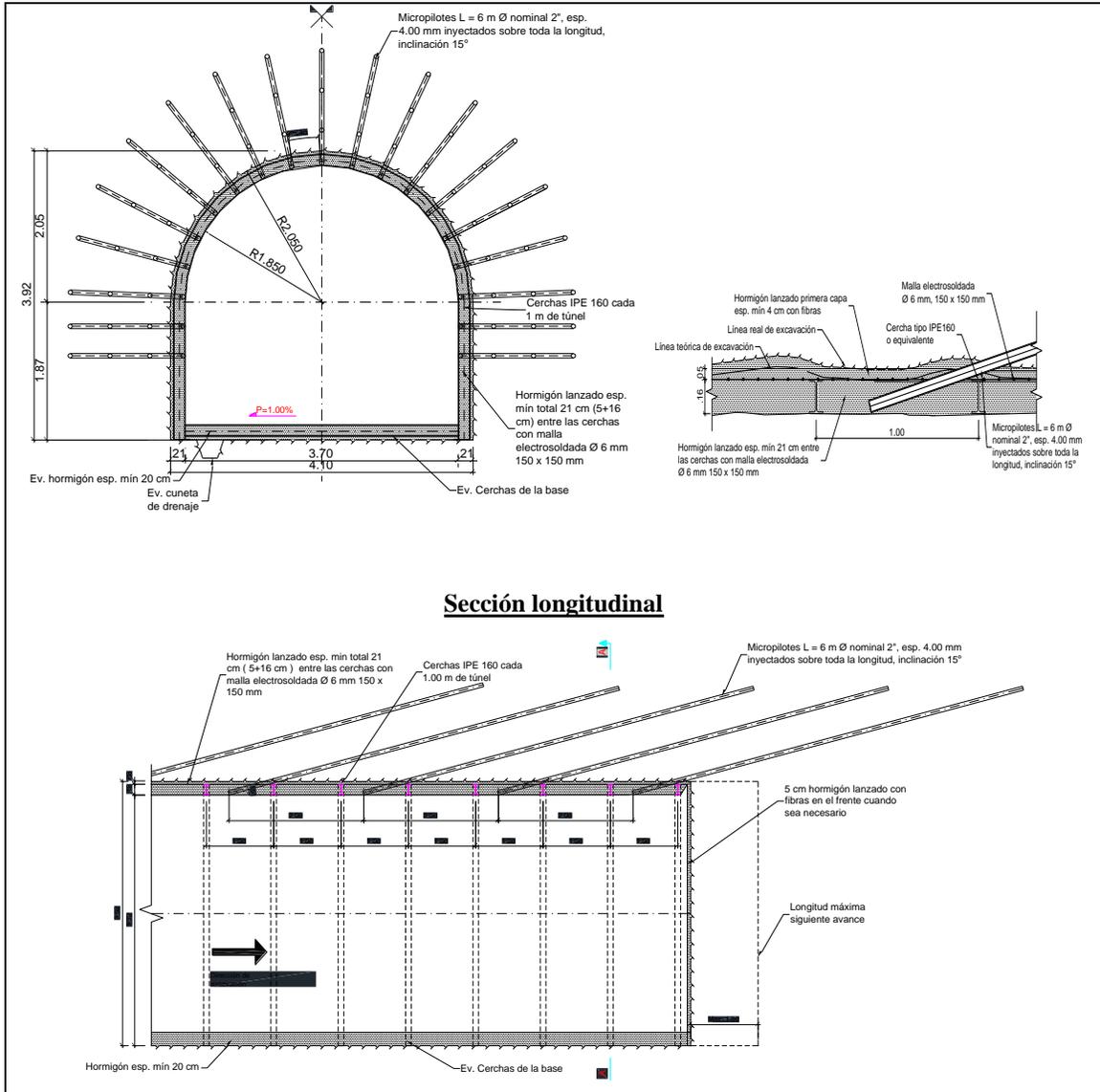
4. Segunda capa de hormigón lanzado con espesor de 20 cm con recubrimiento de las cerchas.
5. Instalación de micropilotes (cada 8 m). El solapamiento mínimo de los micropilotes es cada 4.0 m.
6. Ejecución de pernos pasivos del frente (cada 8 m).
7. Ejecución de drenajes.

Gráfico 35: Diseño de sostenimiento para calidad tipo Vb



Fuente: ASTEC

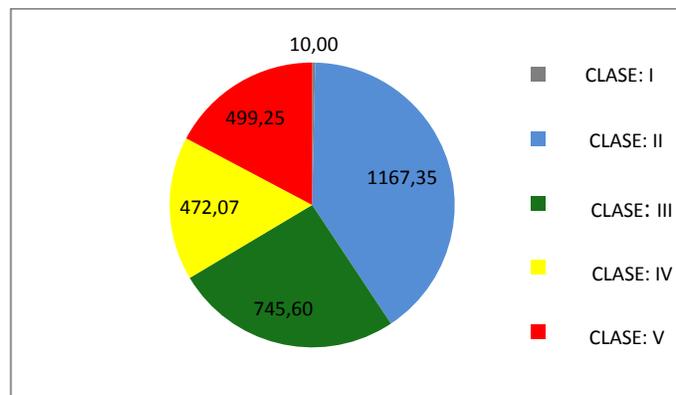
Gráfico 36: Diseño de sostenimiento para calidad tipo Va (Especial)



Fuente: ASTEC

VI. CONCLUSIONES

- El estudio geomecánico realizado durante la construcción en el trazado del túnel Papallacta-Proyecto hidroeléctrico Quijos permitió estudiar el comportamiento de las rocas (lavas basálticas, esquistos) y suelos (brechas volcánicas, depósito de arcilla-limo y arena no previstos en el diseño) y conocer con precisión las características geotécnicas de los materiales a excavar.
- La heterogeneidad geomecánica del sector ha dado en una calificación de los parámetros muy variable, sus características cambian en tramos muy cortos dependiendo de la litología del macizo rocoso. Las propiedades más importantes de las discontinuidades son: orientación, espaciamiento, persistencia, rugosidad, apertura y relleno por lo que es muy necesario analizar minuciosamente cada uno de los parámetros antes de designarles un valor y obtener la calidad del macizo rocoso.
- Mediante los métodos cuantitativos más conocidos y mejor documentados a nivel mundial para clasificar geomecánicamente el macizo rocoso aplicados el RMR de Bieniawski 1989 y el índice Q de Barton , se logró determinar el comportamiento geotécnico de las excavaciones subterráneas y determinar la clase del macizo rocoso como se indica a continuación:



También se puede analizar parámetros como son: el relajamiento del macizo rocoso, formación de cuñas, desprendimiento de roca, persistencia de las discontinuidades y el diaclasamiento en las lavas.

- El análisis de los planos definitivos de excavación elaborados, muestran con mayor claridad la persistencia de las discontinuidades, se identifica la formación de cuñas (abiertas y cerradas) en la bóveda y la potencia de los contactos litológicos.
- La presencia de agua (goteos, flujos o zonas muy húmedas) y el grado de meteorización disminuye la calidad del macizo rocoso y dificulta el lanzamiento de hormigón para su adherencia.
- Con referencia al sentido de excavación las estructuras paralelas al eje del túnel con un buzamiento entre 45-90° y las perpendiculares al eje del túnel (eje del túnel contra el buzamiento) con un buzamiento entre 20-45° son muy desfavorables y si estas interceptan con dos o más familias forman cuñas en la bóveda, las cuales podrían desprenderse y afectar significativamente al macizo rocoso.
- La excavación del túnel es de tipo convencional y manual. Las rocas en la que se ha realizado la excavación pertenece a lavas basálticas-escorias suprayacentes a paleo-causes (arcilla-limo-arena con lentes de grava y arena gruesa) esporádicos, y en la parte basal esquistos de la unidad cuyuja.
- Una vez analizado el comportamiento geotécnico se puede identificar zonas con riesgo de desprendimiento que pueden ser tramos cortos (falla, cuña) o persistentes (brechas, aglomerados, suelos) normalmente en calidad tipo IV y V en los que se debe colocar inmediatamente el sostenimiento en la bóveda y/o hastiales para reforzar la sección del túnel. La cantidad de sostenimiento a instalarse depende de la calidad del macizo rocoso y puede ser: hormigón lanzado, pernos pasivos esporádicos o sistemáticos, cerchas metálicas y micropilotes para estabilizar el macizo, garantizando la seguridad de las personas y maquinaria que labora en el área.

VII. RECOMENDACIONES

- Colocar inmediatamente el sostenimiento en calidad tipo IV y V para evitar la deformación de la sección por el desprendimiento de bloques o colapso del túnel. Evitando accidentes al personal que está trabajando dentro del túnel y pérdidas materiales.
- Determinar los parámetros del RMR, y el índice Q de Barton en el campo. Ya que ambas clasificaciones deben tener similitud en la valoración de los parámetros para obtener la misma calidad de macizo rocoso y cualquier duda sobre algún parámetro debe ser discernida en el campo. Según mi criterio la clasificación geológica-geotécnica se debería hacer con el sistema Q de Barton ya que adicionalmente se toma en consideración los parámetros más importantes como son: el grado de diaclasamiento, fricción de las diaclasas y los esfuerzos que afectan al macizo.
- Analizar detalladamente y realizar un seguimiento continuo cuando el macizo rocoso presente cambios en el tipo relleno, abertura, meteorización y presencia de agua ya que es un indicio para un cambio de litología.
- Cuando las condiciones del macizo son malas a muy malas y existen desprendimientos o relajamiento en el macizo rocoso se debe mantener una distancia prudente ante el tramo recién excavado y realizar estimaciones de los parámetros, evitando poner en peligro la vida de quienes estén en el área de trabajo.
- Realizar el análisis con la ayuda de programas informáticos para determinar rápidamente las dimensiones y forma de cuñas, y colocar anclajes puntuales para el sostenimiento de bloques. Esta evaluación también ayuda a proyectar las discontinuidades del frontón para predecir la persistencia de las estructuras, litologías y formación de posibles cuñas en el próximo avance.

- Los anclajes puntuales colocados en las fallas, planos de foliación, diaclasamiento en las lavas u otros deben tener un ángulo diferente (lo más perpendicular posible) a la dirección de buzamiento de la discontinuidad para poder anclar al macizo y asegurar su estabilidad.

VIII. ABSTRACTO

La presente investigación propone: determinar las características geomecánicas significativas en la sección de excavación del Túnel Papallacta para instalar el sostenimiento adecuado y garantizar la estabilidad del túnel; el proyecto Hidroeléctrico Quijos se encuentra entre las parroquias de Cuyuja y Baeza, cantón Quijos, provincia de Napo; fue desarrollado con ayuda de mapas, brújula de geólogo, martillo de geólogo, flexómetro y hojas de mapeo. Por medio de investigación bibliográfica de mapas, sondeos exploratorios, ensayos de laboratorio geomecánicos y todos los estudios realizados anteriormente los que fueron complementados con el trabajo e investigación de campo, analizando parámetros como: resistencia a la compresión simple, RQD, separación, persistencia, rugosidad, abertura, material de relleno, meteorización, humedad, orientación de las estructuras y cambios litológicos; se determinó que existen seis tipos de litologías: aluvial, lavas basálticas, depósito de paleoladera, paleocauce, escoria y esquistos. Y de acuerdo a las teorías de clasificación geológicas-geotécnicas con el RMR de Bieniawski y el Índice Q de Barton, se obtuvo los siguientes valores para el macizo rocoso, 10m de calidad tipo I, 1167.35m de calidad tipo II, 745.60m de calidad tipo III, 472.07m de calidad tipo IV y 499,25m de calidad tipo V. La excavación del túnel es de tipo convencional y manual. El sostenimiento en la calidad tipo IV y V deberá ser colocado inmediatamente para evitar la deformación de la sección por el desprendimientos de bloques o colapso del túnel. La cantidad de sostenimiento a instalarse depende de la calidad del macizo rocoso, el cual nos servirá para para estabilizar el macizo rocoso, garantizando la seguridad de las personas y maquinaria que labora en el área.

Geología - características geomecánicas - resistencia a la compresión - macizo rocoso - cambios litológicos



IX. ABSTRACT

The current research proposes to determine the significant geometric characteristics in the drilling area of Papallacta Tunnel to install the adequate tunnel support and guarantee the stability of the tunnel. Quijos Hydroelectric project is located between Cuyuja and Baeza parishes, Quijos County, Napo province, this project was carried out with the use of maps, geologist compass, geological hammer, measuring tape and mapping sheets. It also used the bibliographic map research, exploratory probing, geomechanical laboratory tests, as well as all the previous studies carried out. These were complemented with the field trip research which was carried out through the analysis of parameters such as: unconfined compressive strength, RQD, separation, persistence, roughness, slit, filler material, weathering, humidity, orientation of structures, lithological changes. As a result, six types of lithologies were determined, they were: alluvial, basaltic lava, paleoslope deposit, paleochannel, volcanic dross and schists. According to the geological and geotechnical classification theories with the use of RMR Bieniawski and Barton Q index, it was possible to obtain the following values: Rock mass 10 m. type I quality, 1167.35 m. type II quality, 745.60 m. type III quality, 472.07 m. type IV quality, and 499.25 m. type V quality. The tunnel drilling is manual and conventional. The support regarding to IV and V quality must be placed as soon as possible to avoid the deformation of the section due to the lessening of the blocks of the tunnel collapse. The amount of support to be installed is up to the rock mass quality which will be used to stabilize the rock mass, guarantying the safety of both, people and machinery in the area.

KEY WORDS: Geology, geomechanical characteristics, unconfined compressive strength, rock mass, lithological changes.



X. BIBLIOGRAFÍA

1. BALDOCK, D.J. (1983). *Geología del Ecuador*. Quito: D.G.G.M
2. BATTAGLIA, D. (2014). Informe *Geológico-Geotécnico*. Proyecto Hidroeléctrico Quijos Ecuador.
3. DEFINICIÓN. *Componentes de una Falla Geológica*. Recuperado de <http://www.artinaid.com/2013/04/componentes-y-tipos-de-falla-geologicas/>
4. EMPRESA ELECTRICA QUIJOS S.A. (2009). *Estudio de Impacto Ambiental Definitivo (EIAD)*. Proyecto Hidroeléctrico Quijos Baeza (100MW) y Línea de Trasmisión a 138 kV. Asociada. Quito-Ecuador
5. GAVILANES, J.H. & ANDRADE H.B. (2004). “*Introducción a la Ingeniería de Túneles*”. Caracterización, Clasificación y Análisis Geomecánico de Macizos Rocosos. Asociación de Ingenieros de Minas del Ecuador (A.I.M.E). Quito-Ecuador
6. HOCK, E. & BROWN, E.T. (1985). *Excavaciones subterráneas en roca*. Libros McGraw-Hill de México. S.A de C.V
7. LOSET, KVELDSVIK, GOUGHLIN, GRIMSTAD. (1997). *Uso Práctico del Método “Q”*. Ingeniería Geológica. In Norges Geotekniske Institutt
8. MUÑOS, F.L & GONZALES, V.L (1989). *Aplicaciones de las clasificaciones Geomecánicas al estudio de las excavaciones subterráneas*. Universidad de Alcalá de Henares. Servicios de publicaciones
9. NAVARRO, ORTIZ, RUIZ. *Geotecnia Aplicada a la Construcción de Túneles*. Recuperado de <http://es.scribd.com/doc/183713450/GEOTECNIA-APLICADA-A-LA-CONSTRUCCION-DE-TUNELES-pdf>
10. ROGERS, J. W. & ADAMS, A.S. (1969). *Fundamentos de la geología*. Barcelona: Omega

11. SIERRA, R. (1999). *Propuesta Preliminar de un Sistema de Clasificación de Vegetación para el Ecuador Continental*. Proyecto INEFAN/GEF-BIRF y EcoCiencia. Quito-Ecuador: (Ed). Recuperado de http://www.ecociencia.Org/archivos/RSierra_PropVegEcuador_1992-120103.pdf

XI. ANEXO

ANEXO 1: Glosario de términos

A

Abisal: término usado en geomorfología continental o submarina para designar las grandes profundidades o partes bajas de grandes acantilados

Abrupto: término usado en geología y geomorfología para describir fuertes desniveles de terreno, sobre todo en los acantilados.

Absorción de agua: cantidad de agua que es retenida por una roca al paso de una corriente de agua, debido a su porosidad, capilaridad y/o permeabilidad.

Acantilado: aspecto del relieve topográfico donde se aprecia fuertes desniveles, presentando paredes casi verticales. Ejm. escarpas de fallas, acantilados costeros.

Ácida (roca): roca que posee elevado porcentaje de sílice, generalmente se refiere a las rocas ígneas. Las rocas ácidas presentan colores claros y ofrecen mayor resistencia a la hidratación, poseen más de 65% de sílice. Las neutras contienen entre 52 y 65% de sílice, las básicas entre 45 y 52% y las ultrabásicas menos del 45%.

Aglomerado: rocas piroclásticas constituidas principalmente de fragmentos mayores de 2 cm de diámetro.

Aluvión: material detrítico de cualquier tamaño transportado y depositado a lo largo de tiempos geológicos relativamente recientes.

Alteración: cambio de la composición mineralógica de la roca debido a procesos físicos o químicos. El término “alteración de la diaclasa” incluye tanto la alteración y meteorización, cuanto la descripción de las siguientes categorías: 1) Alteración de las paredes de las diaclasas. 2) Recubrimiento de las paredes de las diaclasas. 3) Relleno de las diaclasas.

Amenaza sísmica: probabilidad de ocurrencia de eventos asociados con un sismo (movimientos de masa, rotura del terreno, fallas en superficie, deformación tectónica, inundaciones) que causen daños materiales o pérdidas de vidas en un lugar y en un lapso determinado.

Angulo de fricción interna, ϕ (grados): ángulo entre el eje de esfuerzos normales y la tangente a la envolvente de Mohr en un punto que representa una condición dada de esfuerzo de ruptura de un material sólido.

Arcilla: suelo fino granular, o la porción fino granular de un suelo que puede presentar un comportamiento plástico dentro de un intervalo de contenido de humedad más o menos amplio, y que tiene una considerable resistencia al corte cuando se seca al aire. Este término ha sido utilizado para designar el conjunto de partículas de un suelo menores de $2\mu\text{m}$ ($5\mu\text{m}$ en algunos casos), pero existe suficiente evidencia que, desde el punto de vista de la ingeniería, las propiedades descritas en esta definición normalmente son más importantes que el solo tamaño de las partículas para la caracterización de los materiales arcillosos. Las propiedades de las arcillas dependen principalmente del tipo de minerales que las componen y de los cationes intercambiables que contienen.

B

Basamento: complejo rocoso indiferenciado que se encuentra por debajo de las rocas o suelos de interés en un área.

Brecha de falla: es una masa de material fragmentario resultante del efecto de la trituración que sufren las rocas a lo largo del plano de falla. Si el material resulta metamorfozado por la elevada presión y temperatura, con recristalización y cambio mineralógico, el material recibe el nombre de **milonita**.

C

Cementación: proceso de consolidación de los materiales fragmentarios (bloques, gravas, arenas, limos, arcillas, etc.) por acción de un material más fino, o una solución al cual se le denomina matriz, y por un proceso inicial de diagénesis.

Cresta: Corresponde al límite de cuencas entre laderas adyacentes con inclinaciones opuestas. Se representan en el mapa como elementos lineales.

D

Deformación plástica: cuando una roca o material se deforma por acción de un esfuerzo y al cesar el esfuerzo la roca o material alterado conserva su deformación como las arcillas, argilitas, lutitas, pizarras, etc.

Deslizamiento: término genérico que comprende una amplia variedad de procesos de erosión en masa que incluye el transporte pendiente abajo de masas de suelo y de roca.

Normalmente el material removido se desplaza a lo largo de una superficie o de una zona restringida de cizalladura, y es precedido, acompañado y seguido de una deformación perceptible a lo largo de la superficie de deslizamiento y en el interior de la masa de suelo afectado por estos procesos.

Diaclasa: es una fractura en las rocas que no va acompañada de deslizamiento de los bloques que determina, no siendo el desplazamiento más que una mínima separación transversal.

Dureza: es la capacidad relativa de un mineral a ser rayado por otro.

E

Espejo de falla: es una superficie brillante, de aspecto pulimentado, que puede aparecer sobre las rocas en el plano de falla por efecto de la recristalización de los minerales sometidos al incremento de presión y temperatura consecuencia de la fricción generada durante el movimiento de la falla.

Escarpe morfológico: Escarpes que contornan cambios muy abruptos en la pendiente topográfica produciendo un paso morfológico evidente.

Estrías de falla: son marcas de fricción que muestran las rocas en el plano de falla en forma de finas estrías o acanaladuras. Pueden aparecer afectando al espejo de falla.

G

Geotecnia: Ciencia que estudia los procesos geodinámicos externos y la aplicación de los métodos ingenieriles para su control con el objeto de que los efectos destructivos de estos procesos sean mínimos.

Grado de compactación: relación de la compactación de un suelo respecto a la compactación máxima posible con un determinado procedimiento. Se puede medir mediante el porcentaje de compactación o la relación de compactación.

Granulometría: tecnología que se encarga de dictar las normas correspondientes para determinar las dimensiones y las formas de los fragmentos de los materiales detríticos.

H

Humedad natural: contenido de agua de un suelo o de una roca tal como se encuentra en el terreno durante la operación de muestreo.

Homogéneo: que tiene las mismas propiedades en todos los puntos.

L

Límite elástico: Esfuerzo máximo del intervalo en el que un material presenta un comportamiento elástico. Punto en la curva esfuerzo/deformación donde ocurre la transición del comportamiento elástico al inelástico.

M

Masivo: término usado en geología en geología estructural para rocas ígneas o metamórficas, con textura homogénea y que cubren grandes áreas sin que se presentes estratificaciones, foliaciones o cualquier otra estructura planar.

Macizo rocoso: es el medio in-situ que contiene diferentes tipos de discontinuidades como diaclasas, estratos, fallas y otros rasgos estructurales.

N

Nivel freático: Altura a la que se encuentra el agua en una perforación; posición de la superficie superior del agua en un acuífero. En los acuíferos libres, el nivel freático coincide con el nivel piezométrico.

P

Permeabilidad: Capacidad de una roca o de un suelo de permitir el paso de un fluido a través suyo. Medida de la relativa facilidad en que un fluido pasa a través de un material bajo una diferencia de presión dada. La permeabilidad es una característica del material, independiente de las propiedades físicas del fluido que pasa a través suyo, y es diferente del coeficiente de permeabilidad o conductividad hidráulica.

Potencia: espesor del estrato de roca.

R

Resistencia al corte: Resistencia a la cizalladura.

Roca intacta: es el bloque ubicado entre las discontinuidades y podría ser representada por una muestra de mano o trozo de testigo que se utiliza para ensayos de laboratorio.

T

Textura: relación existente entre los granos minerales que se forman en una roca. La textura de una roca depende de: a) tamaño del grano, b) forma del grano, c) grano de cristalinidad, d) relación entre los contactos de los granos.

Z

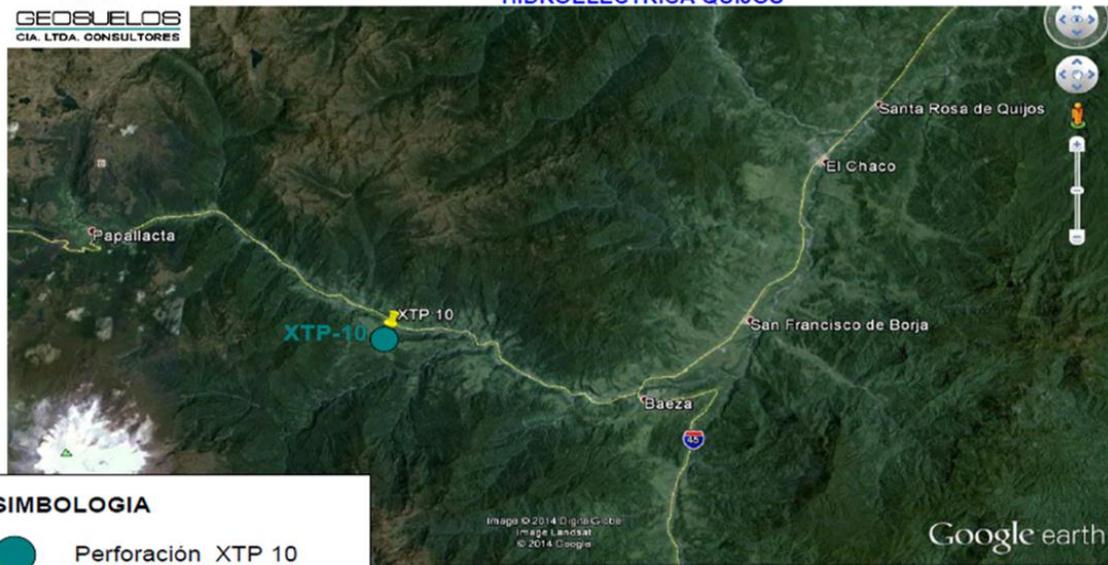
Zona de derrumbe: corresponden a las áreas interesadas por los deslizamientos, que son identificables por irregularidad peculiares en la formas de las laderas. Son caracterizadas por la presencia de escarpes abruptos que contornan su porción superior y por el claro contraste en la tendencia de las curvas de niveles respecto a las porciones adyacentes de laderas.

ANEXO 2: Sondeo XTP 10



GEOSUELOS
CÍA. LTDA. CONSULTORES

UBICACIÓN DE SONDEOS HACIENDA HUILA HIDROELÉCTRICA QUIJOS



SIMBOLOGIA



Perforación XTP 10

Realizado por Geosuelos Cía. Ltda. (Octubre 2014)

2-1: Fotografías



Foto 5: Caja 4. De 15 a 20m.



Foto 6: Caja 5. De 20 a 25m.



Foto 9: Caja 8. De 35 a 40m.

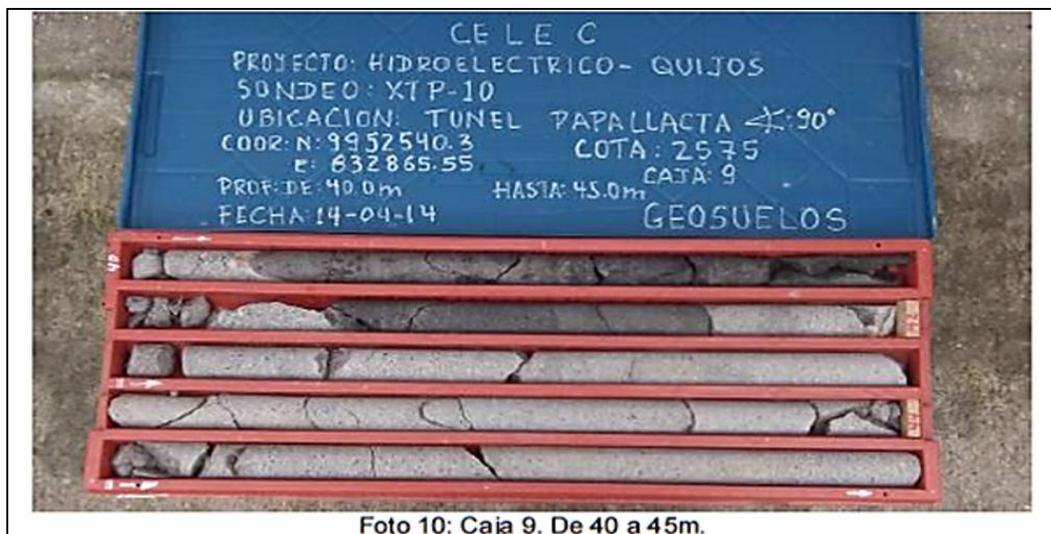


Foto 10: Caja 9. De 40 a 45m.



Foto 32: Caja 31. De 150 a 155m.



Foto 41: Caja 40. De 195 a 200m.



Foto 42: Caja 41. De 200 a 205m.



Foto 45: Caja 44. De 215 a 220m.



Foto 46: Caja 45. De 220 a 225m.



Foto 47: Caja 46. De 225 a 230m.



Foto 51: Caja 50. De 245 a 250m.



Foto 52: Caja 51. De 250 a 255m.



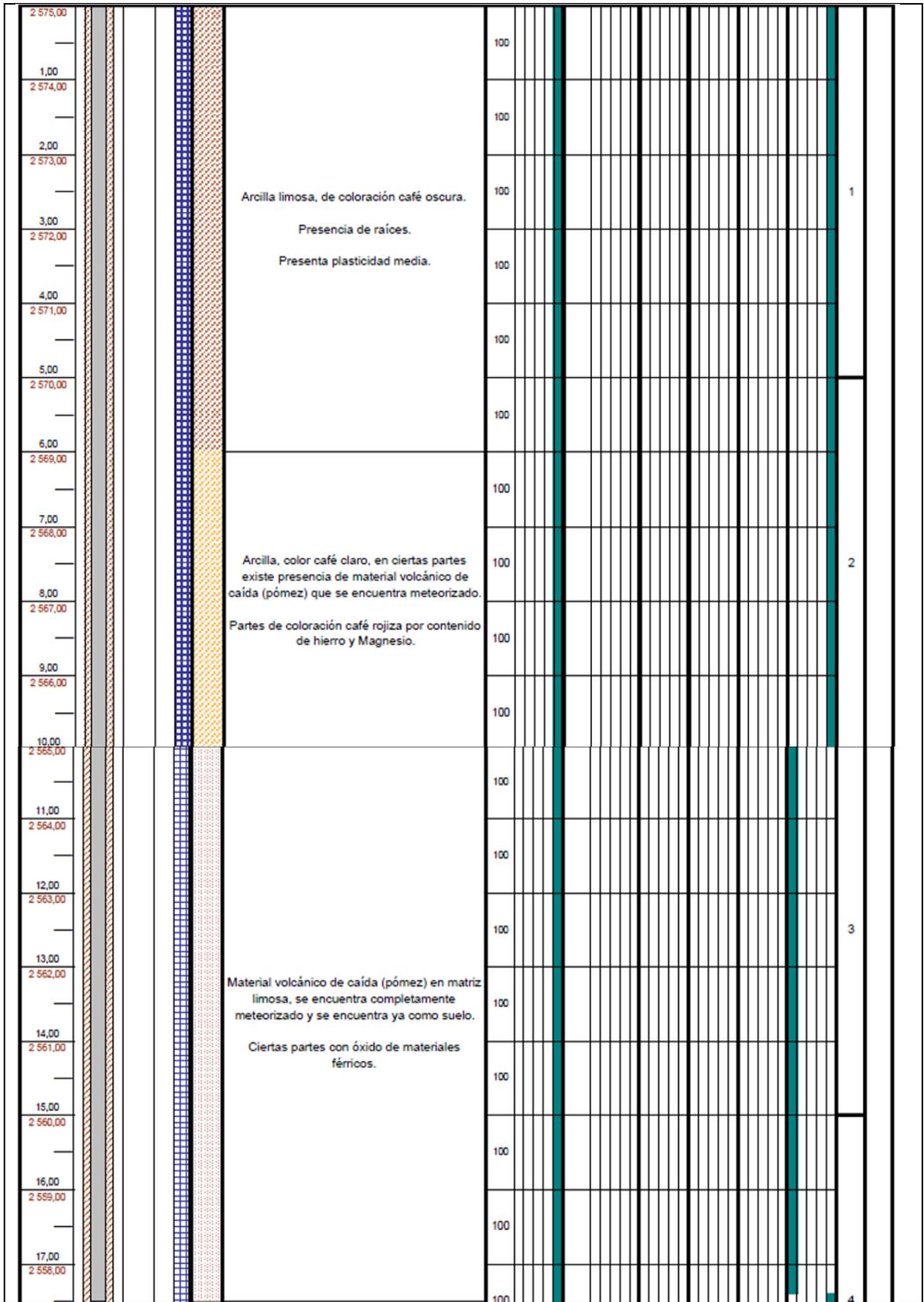
Foto 59: Caja 58. De 285 a 290m.

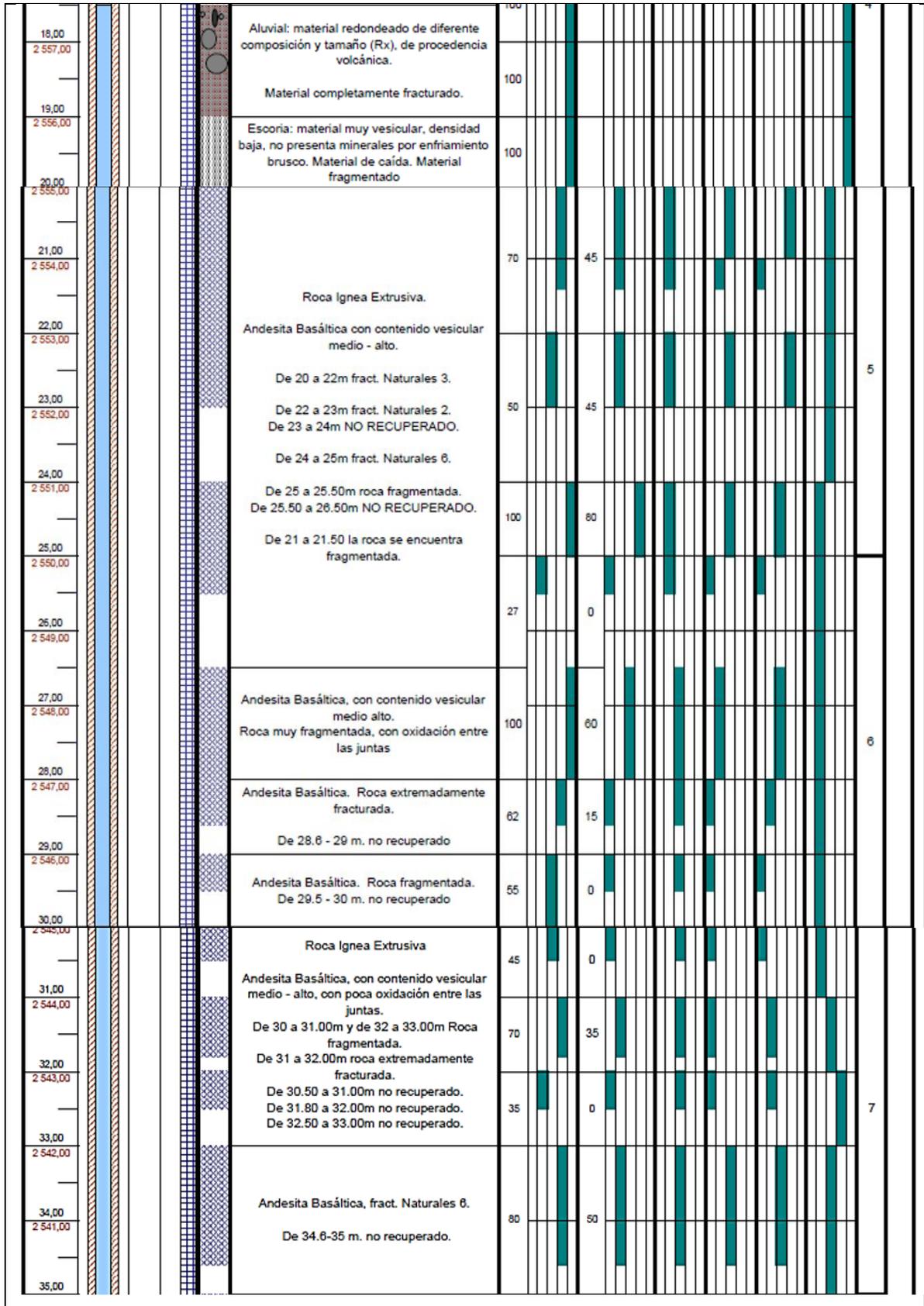


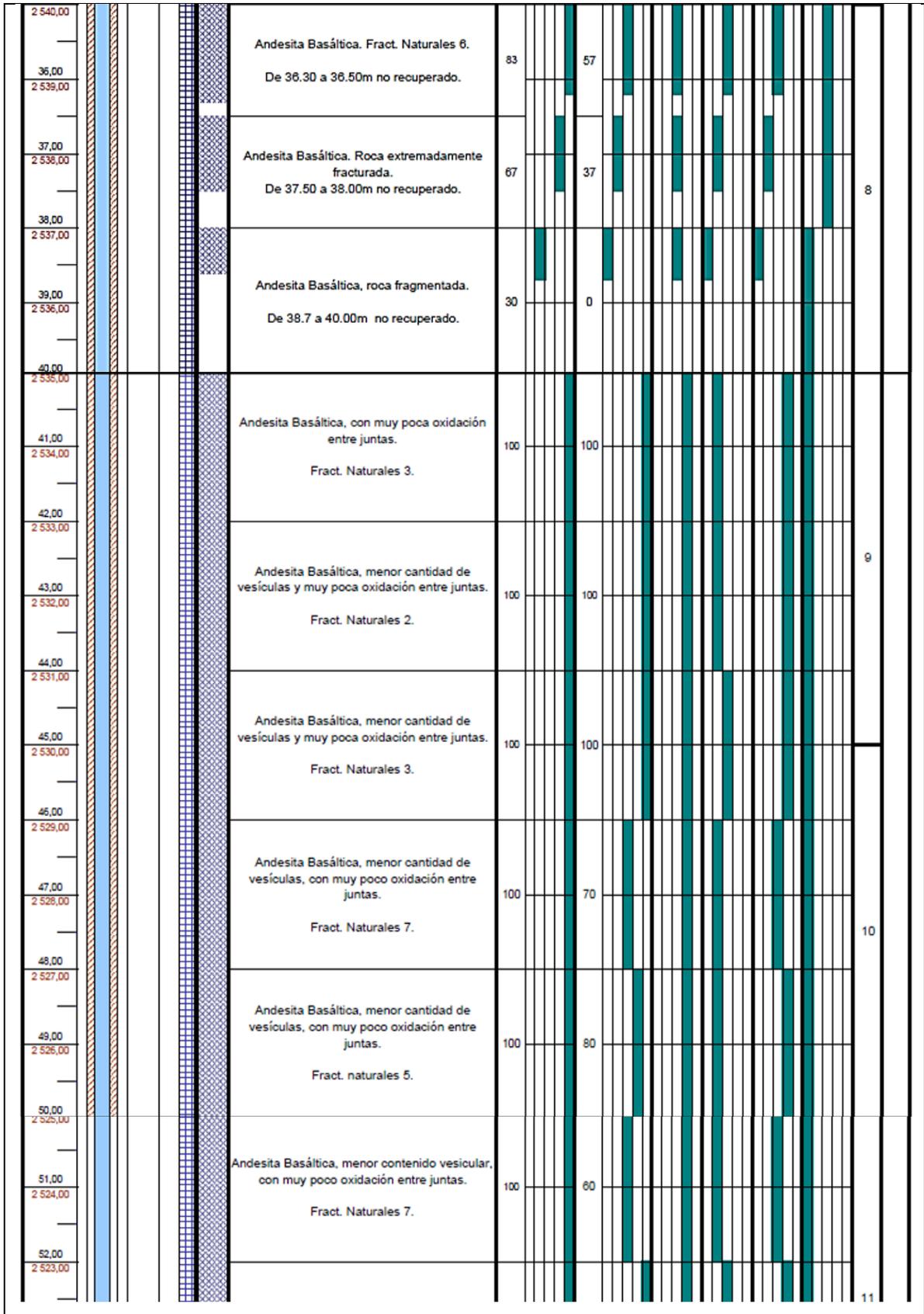
Foto 61: Caja 60. De 295 a 300m.

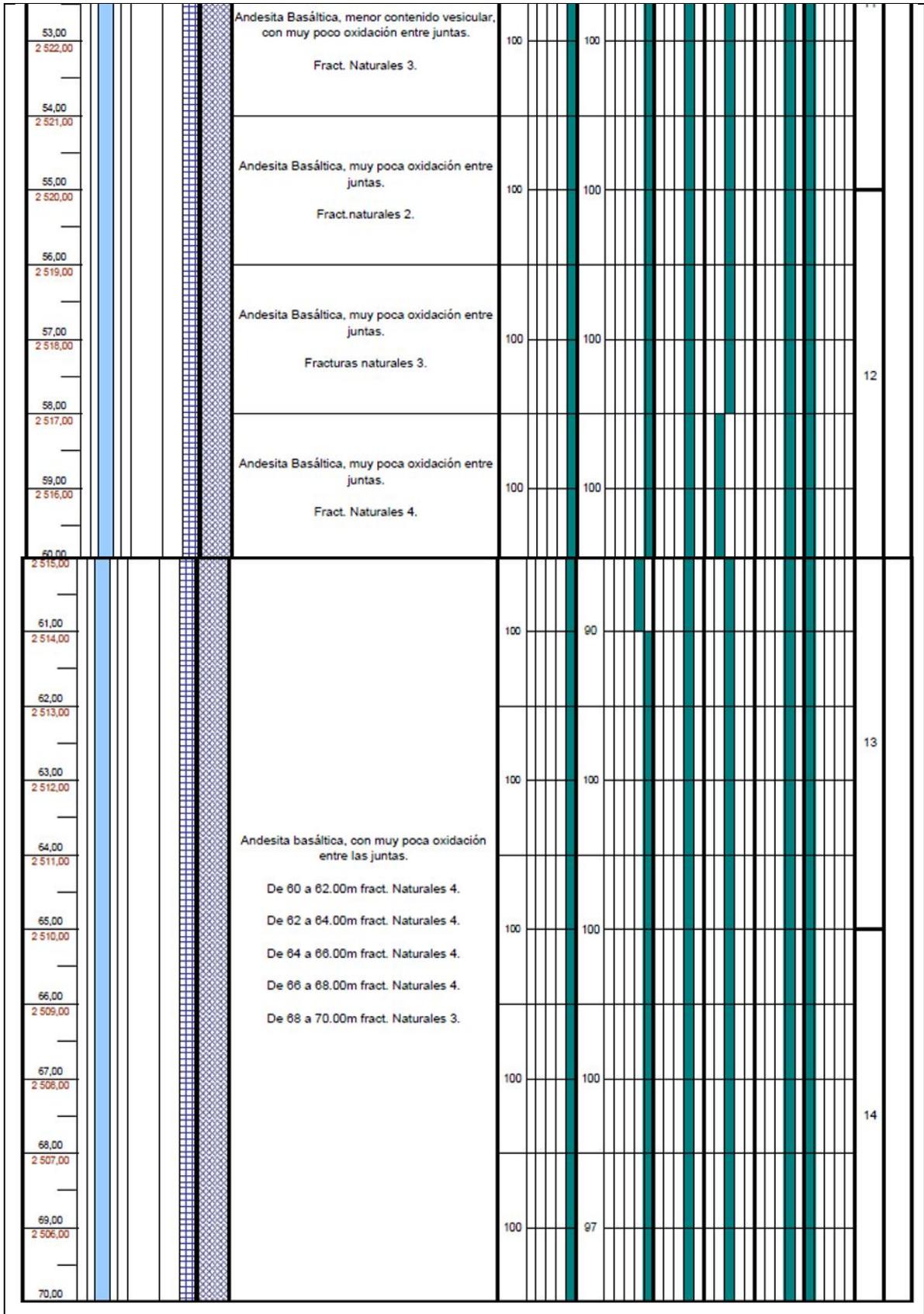


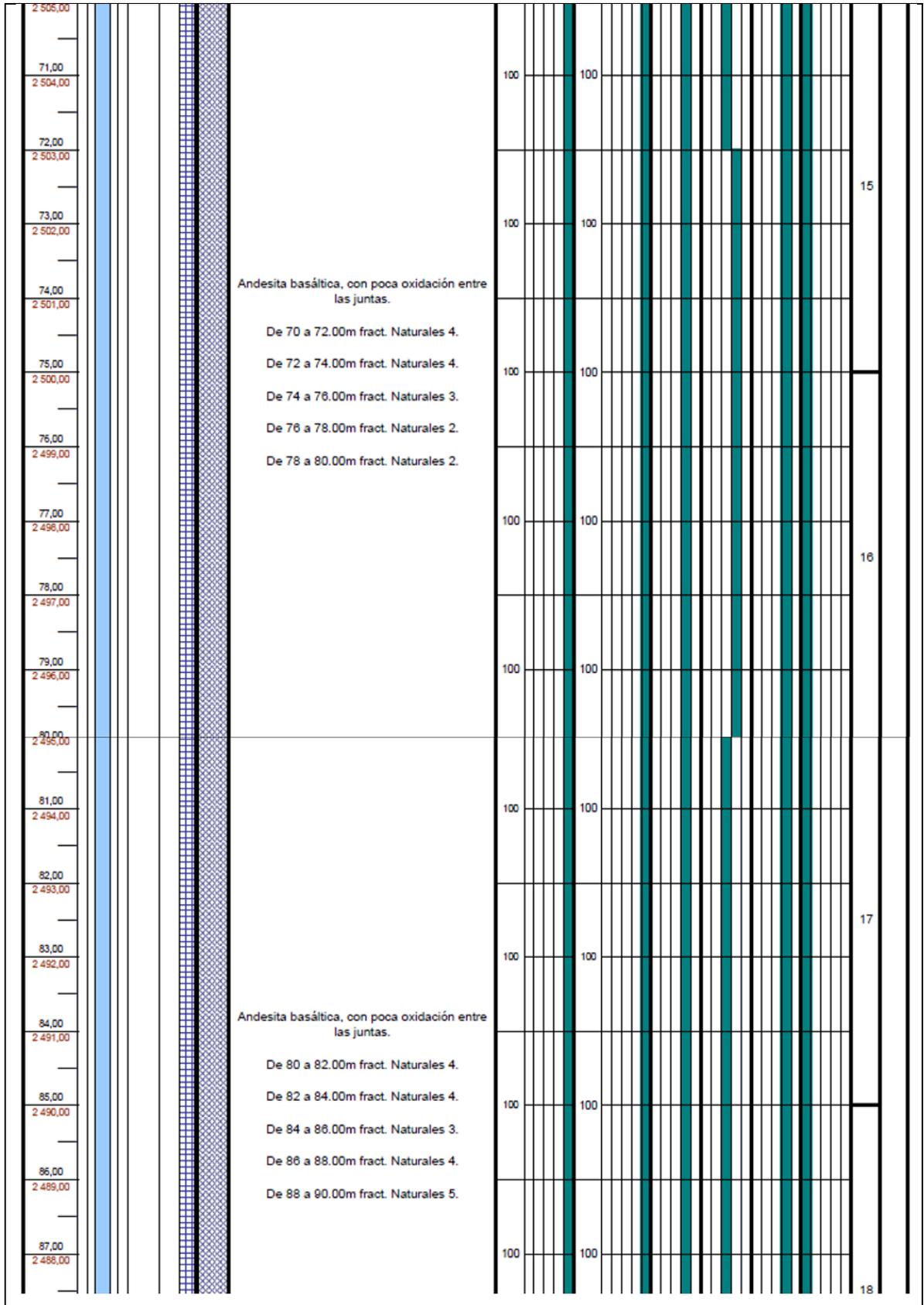
Foto 62: Loseta

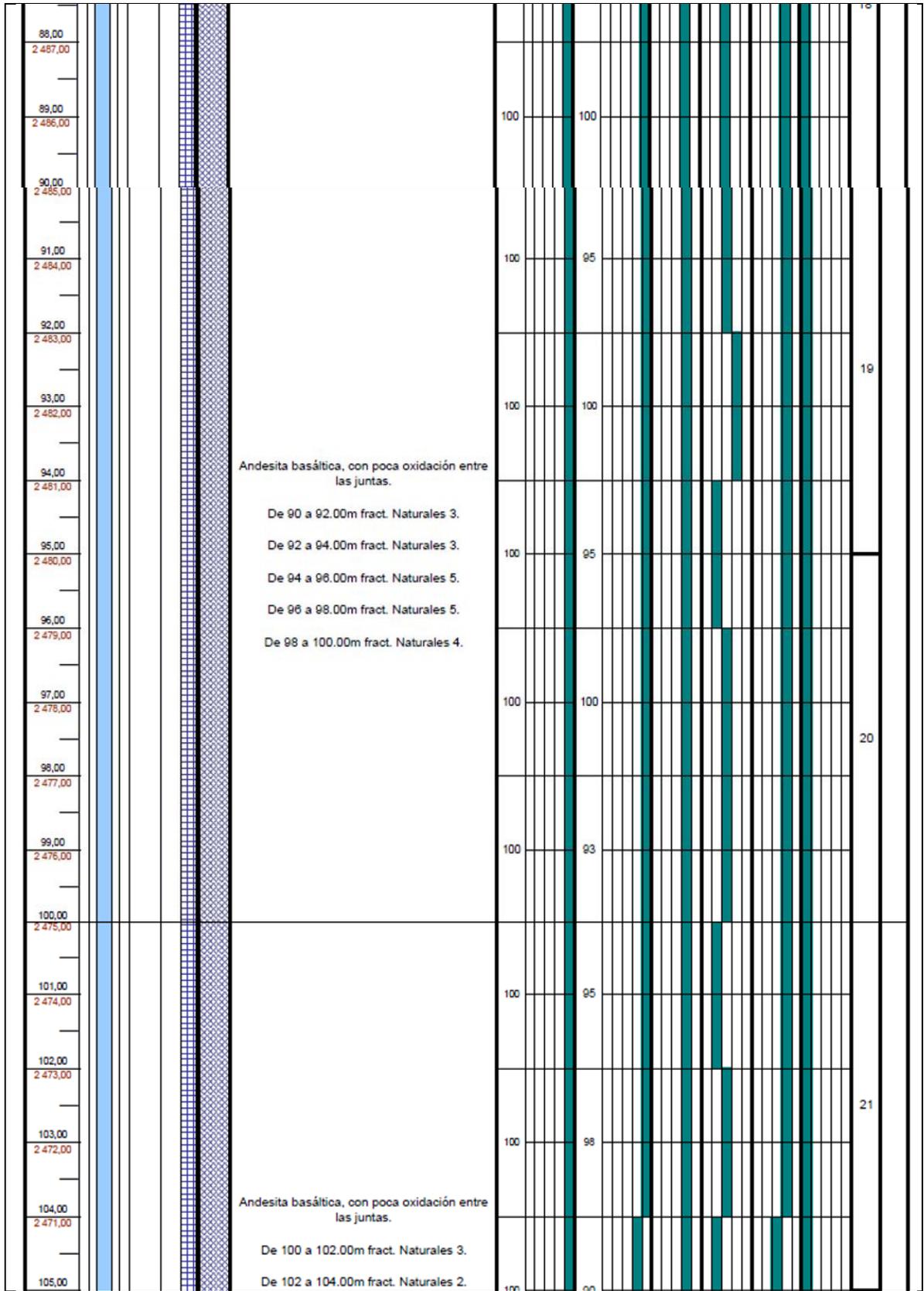


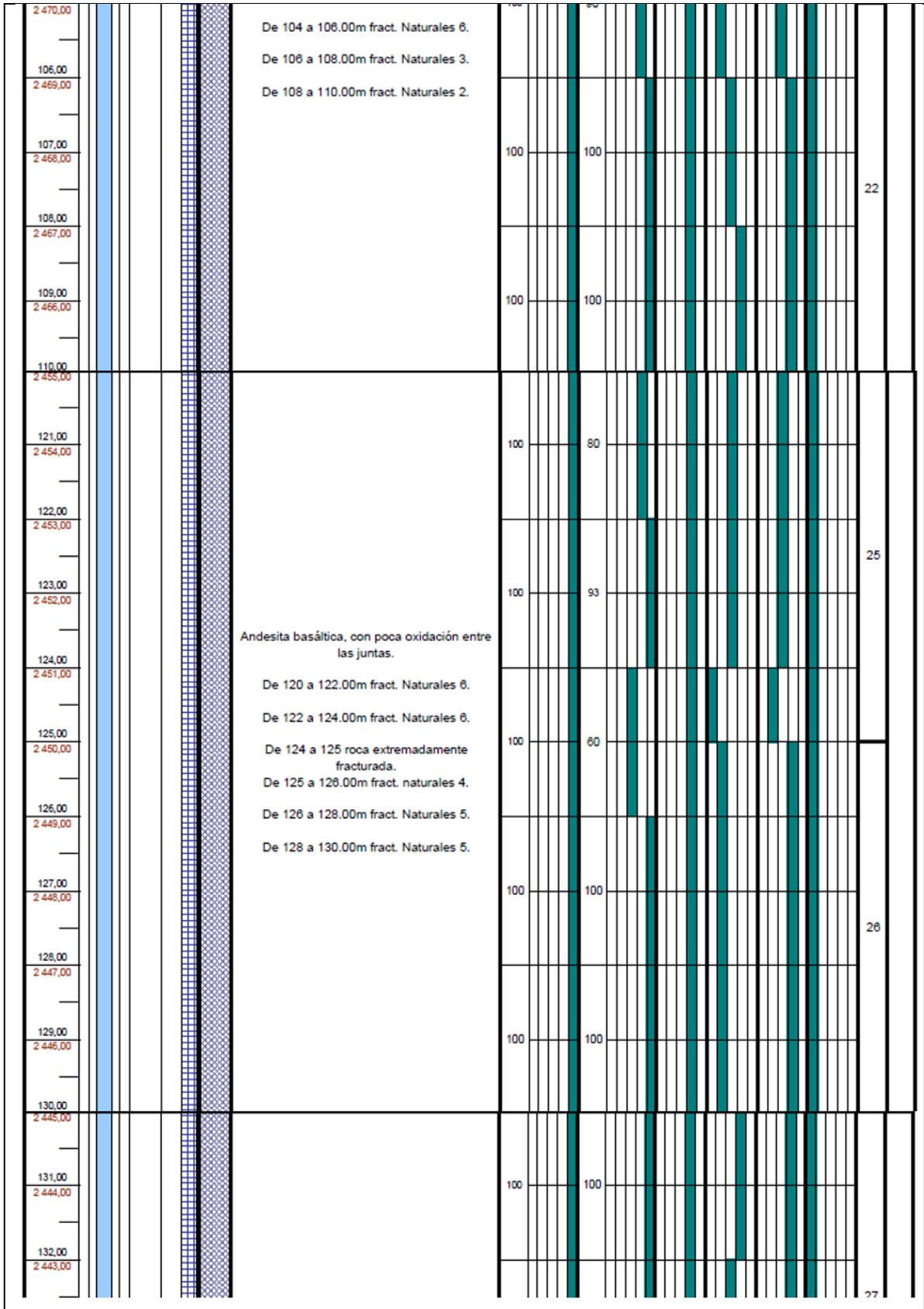


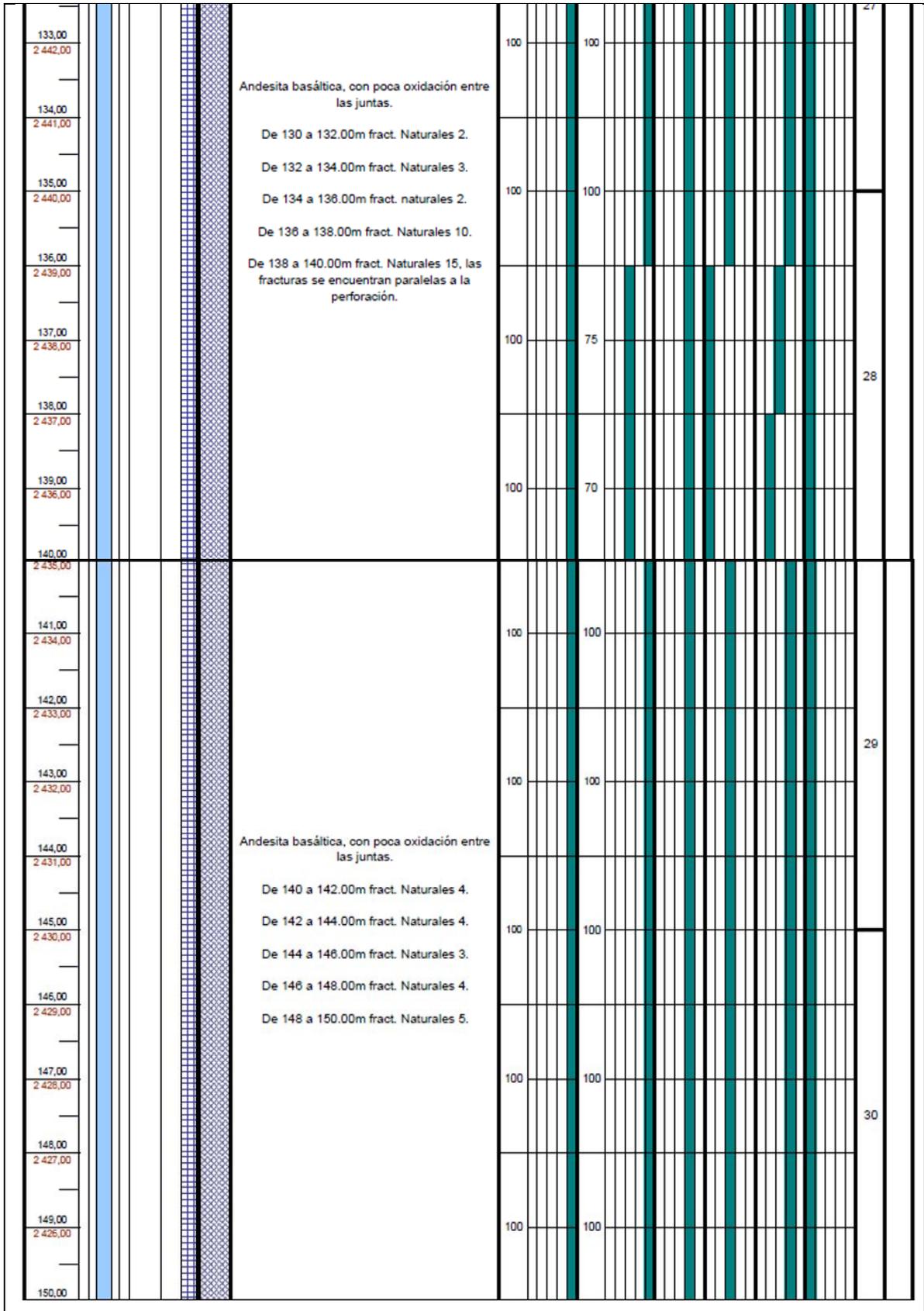


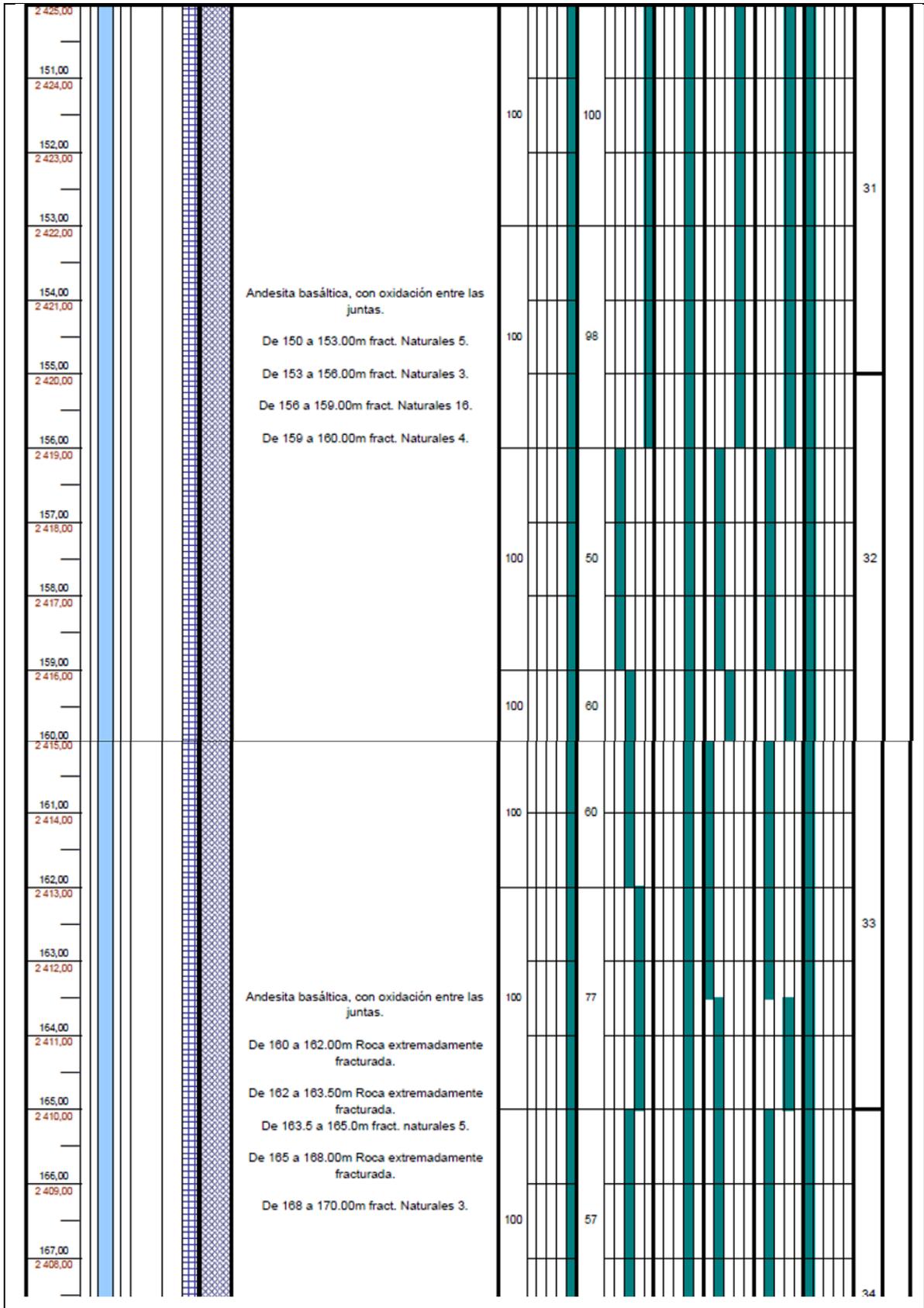


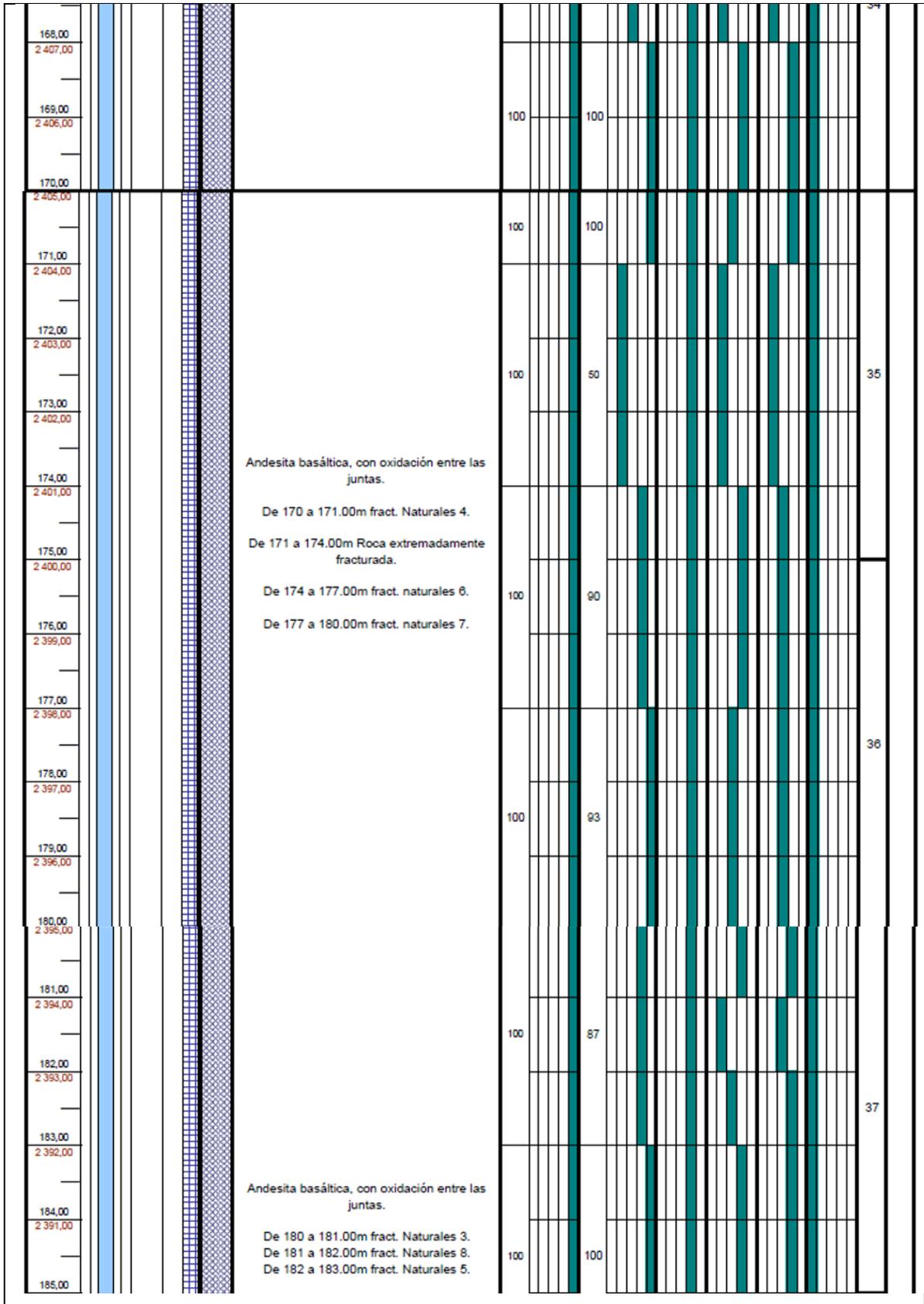


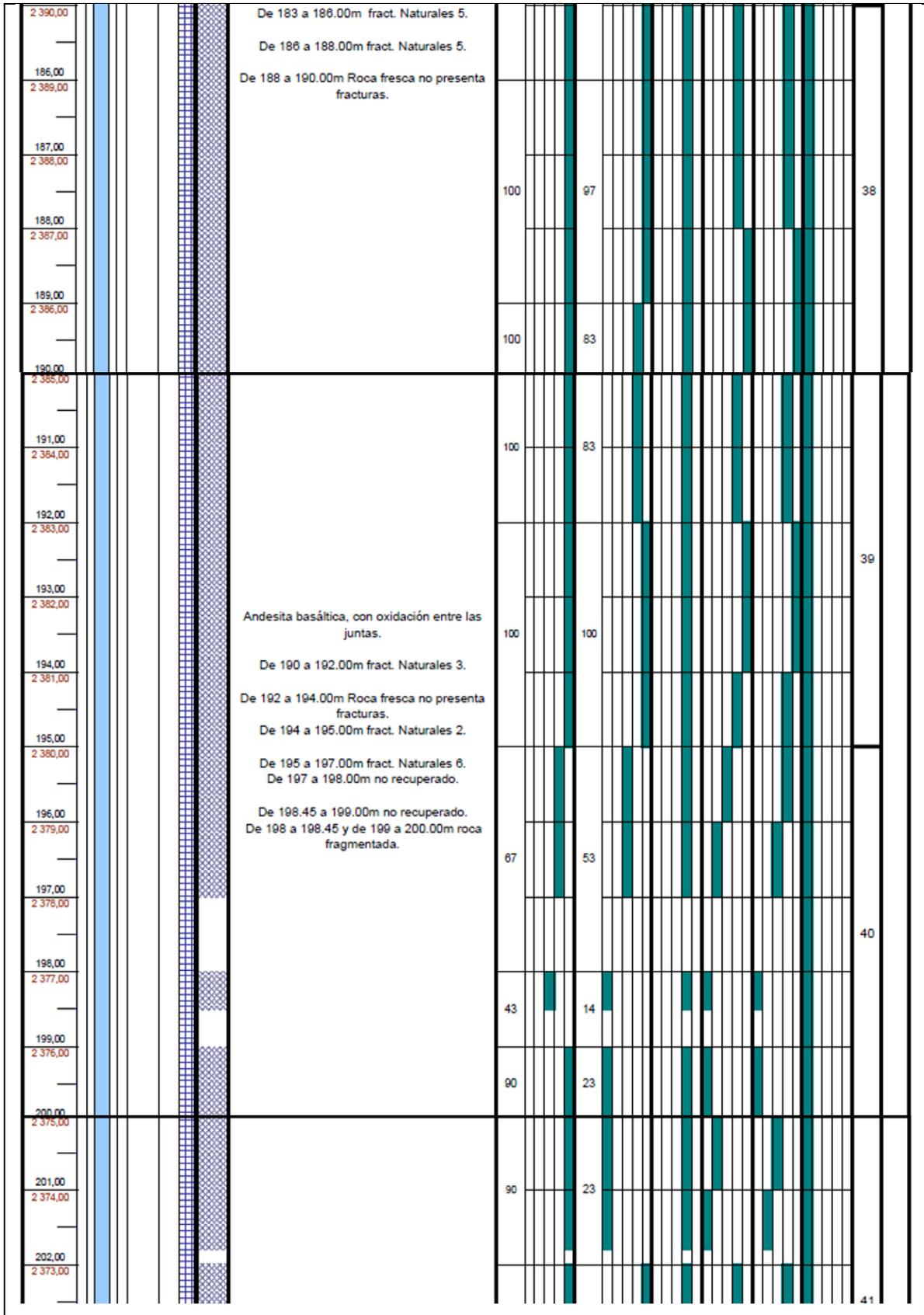


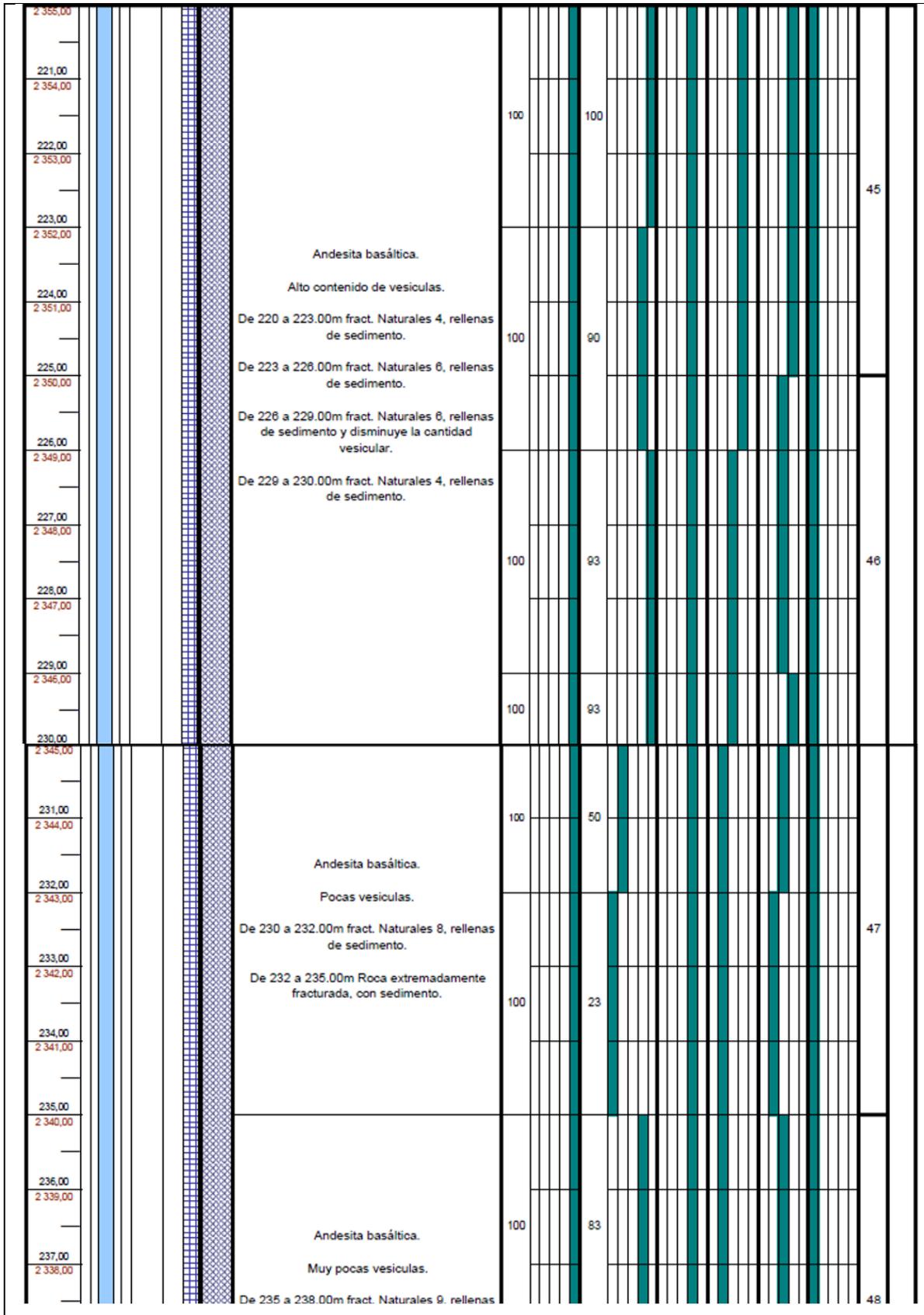


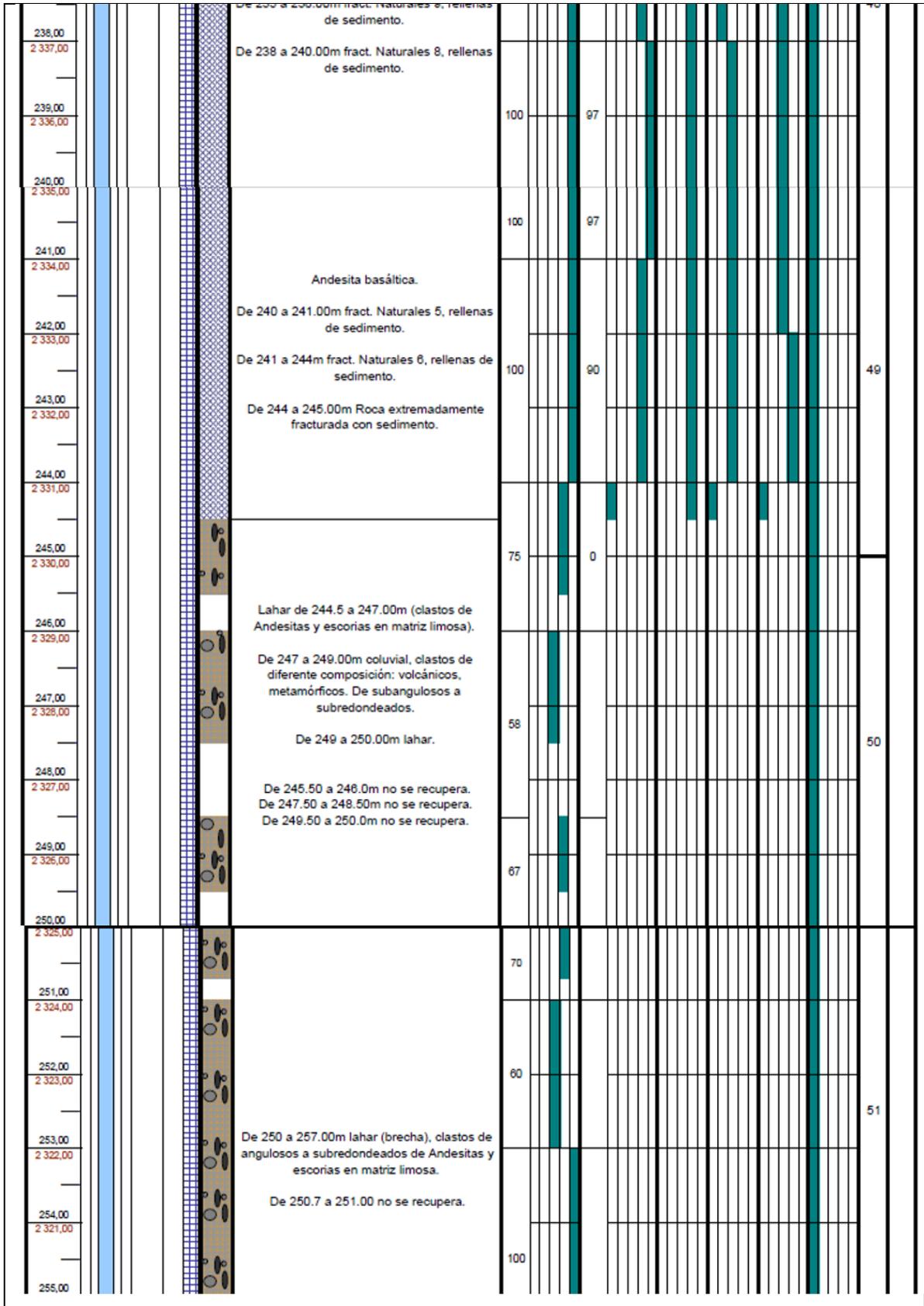


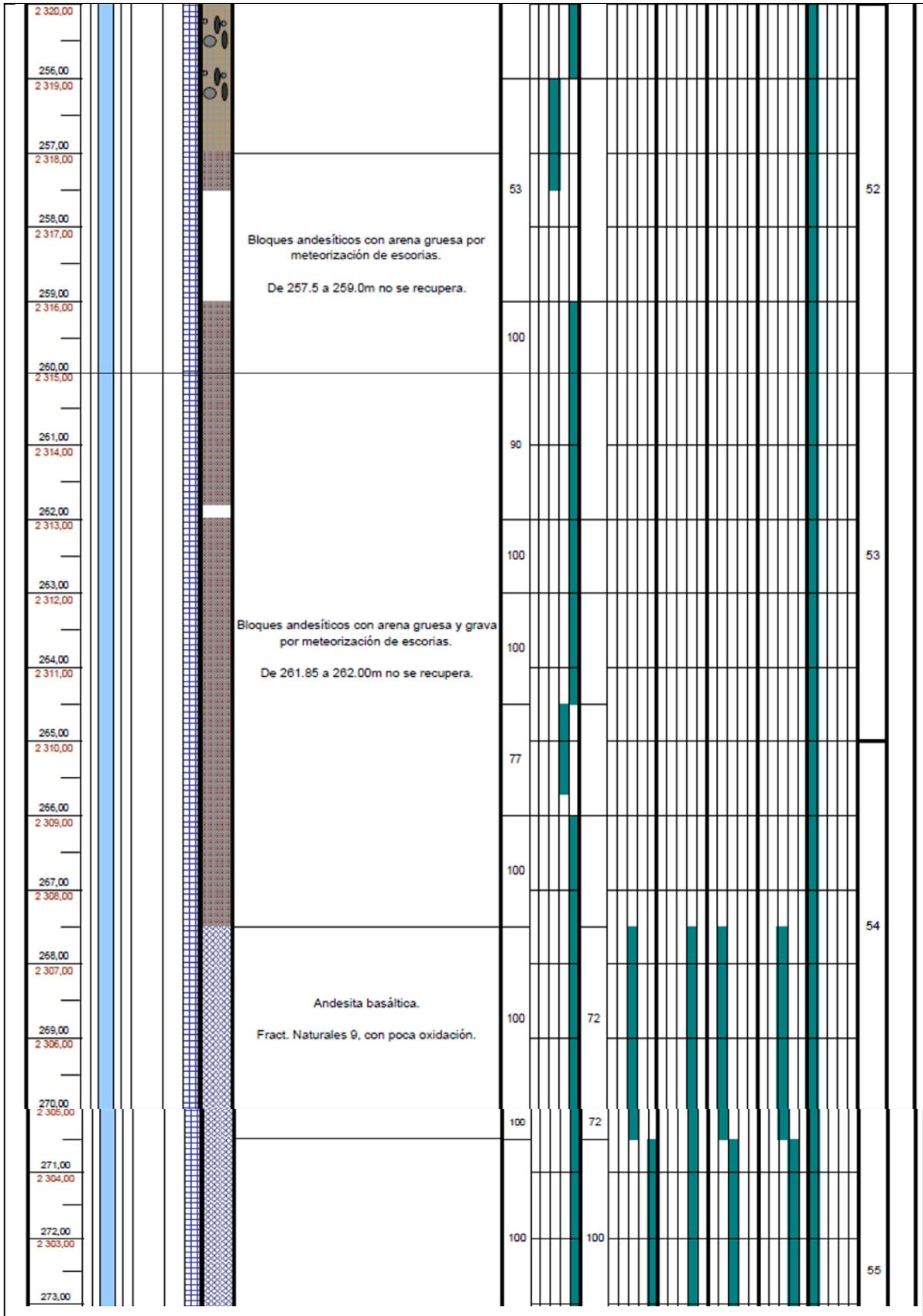


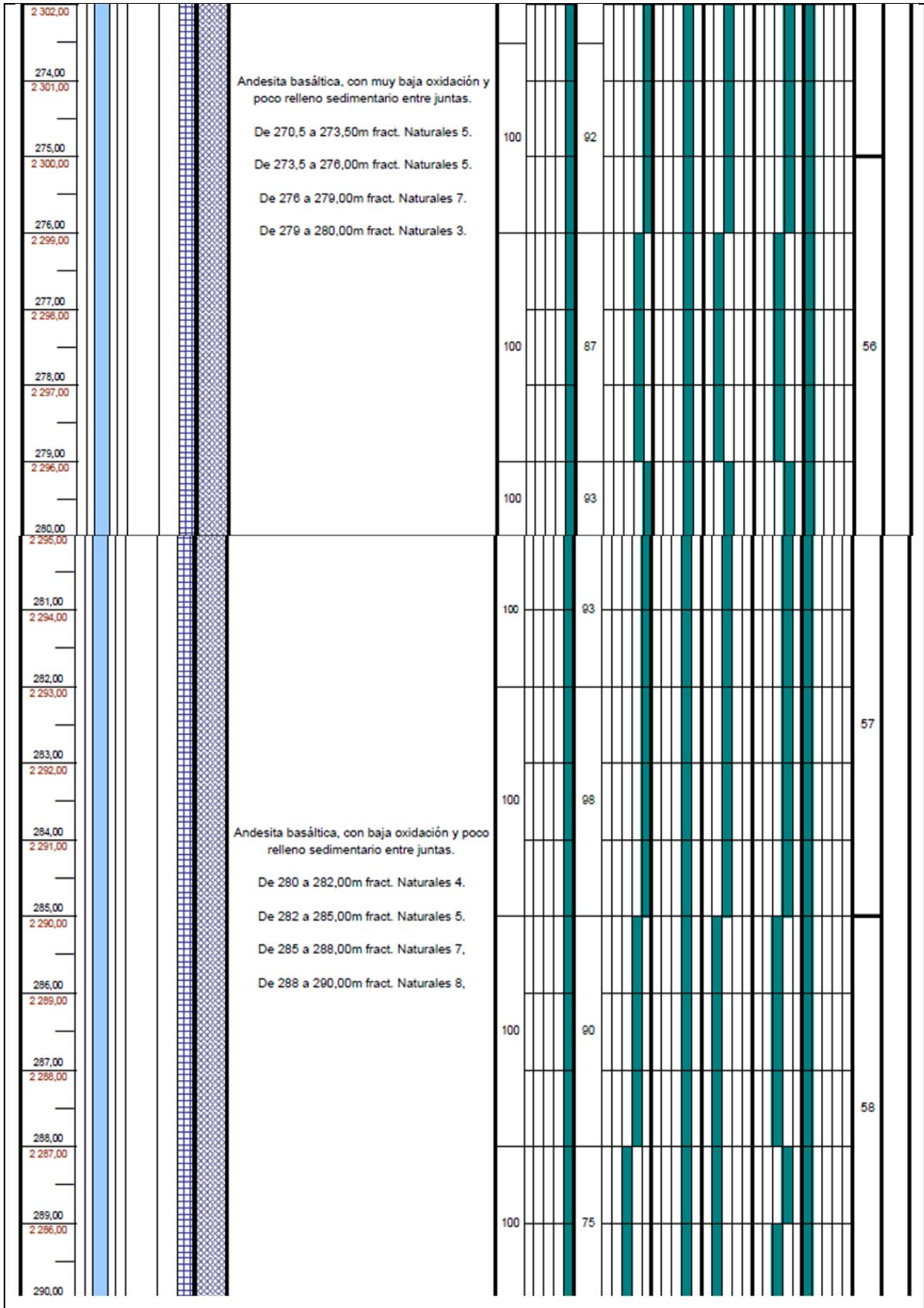


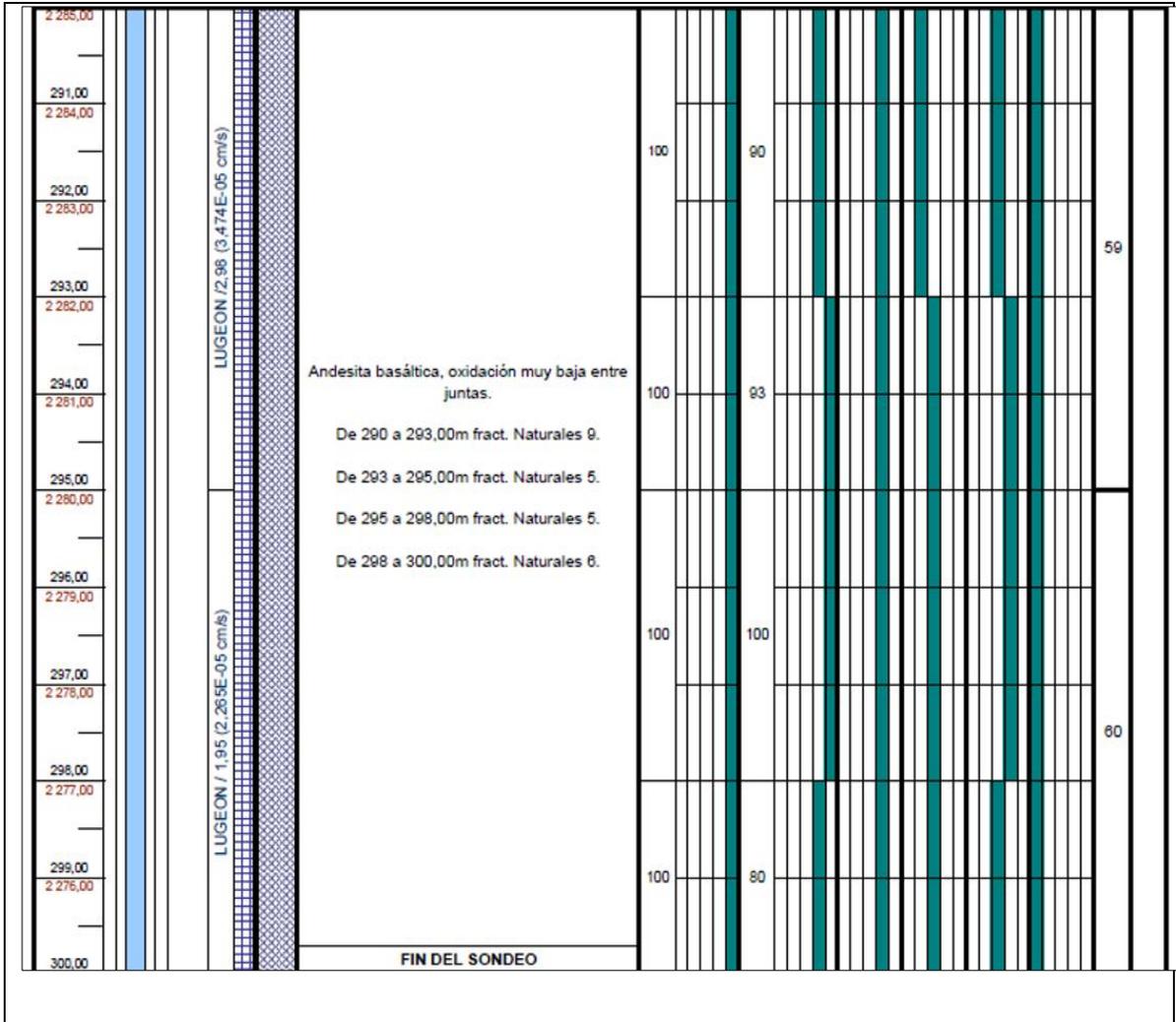




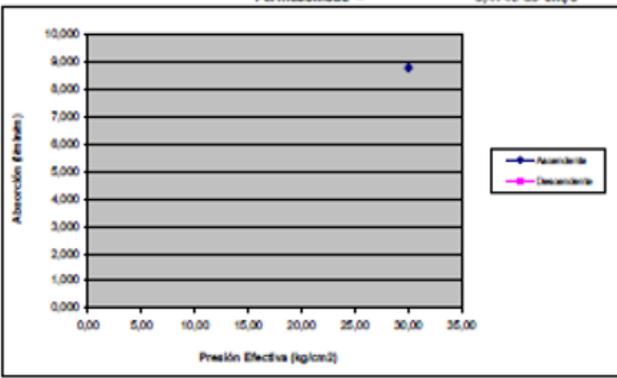








2-3: Ensayos de Permeabilidad

	CLIENTE: CELEC EP	Proyecto: PROYECTO HIDROELÉCTRICO QUIJOS Barreno: XTP-10 PRUEBA 1 Localización: Tunel Papellacta Realizado por: Ing. Germánico Bastidas Fiscalizador: Ing. Fabián Burbano Fecha: 09/06/2014 Elevación [m]: 2575										
PRUEBA DE PERMEABILIDAD TIPO LUGEON												
Tramo: 290,00 m a 295,00 m Longitud del tramo = 5,00 m Longitud de tubería = 290,00 m Diámetro de tubería = 0,075 m Área de tubería = 0,00442 m ²	Elevación del brocal = 2575,00 msnm Altura del manómetro (h1) = 0,52 m Prof. Nivel freático (h2) = m Prof. Media (h3) = 292,50 m Inclinación = 0,00 ° de la vertical											
	Tiempo min	Absorción litros	Absorción [l/min]	Absorción [l/min/m]	Presión Manom. (PM)		+ h1 (m)	+ h3 (m)	- h4 (m)	- hf	Presión Efectiva	
					[kg/cm ²]	[MPa]	10	10	10		[kg/cm ²]	[Mpa]
V U T R O D U C I D O	40	1757,30	43,93	8,787	1,00	0,10	0,05	29,25	0,00	0,261	30,04	2,945
EL MATERIAL DEL TRAMO ENSAYADO NO SOPORTA MÁS PRESIÓN NI NUEVOS ESTADOS DE CARGA SUPERIORES												
V U T R O D U C I D O												
RESULTADO EN U. L. = 2,98 Permeabilidad = 3,474E-05 cm/s												
PE = Presión Efectiva = (PM + h1 + h3 - h4 - hf) PM = Presión Manométrica h1 = Altura del Manómetro h2 = Distancia del Terreno al espejo de agua h3 = Distancia del Terreno al tramo medio de prueba h4 = Distancia del Nivel Freático al tramo medio de prueba, (h3 - h2) hf = Pérdida de agua por fricción												
												
Ensayó:	GB	Evaluó:		Revisó:		Aprobó:						

