



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

**“ESTUDIO DE LAS CARACTERÍSTICAS GEOMECÁNICAS DEL ALUVIAL
PARA LA CONSTRUCCIÓN DEL TÚNEL VENTANA 2 DEL “PROYECTO
HIDROELÉCTRICO QUIJOS”.**

TRABAJO DE TITULACIÓN

**PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL TÍTULO DE
INGENIERO EN GEOLOGÍA Y MINAS**

Autor:
CARDOSO VIRACUCHA CHRISTIAN PAÚL

MACAS – ECUADOR

2015

APROBACIÓN DEL TRIBUNAL

Los abajo firmantes, miembros del Trabajo de Titulación del señor **CARDOSO VIRACUCHA CHRISTIAN PAUL**, estudiante de la carrera de Ingeniería Geología y Minas, Escuela de Agronomía, Facultad Recursos Naturales de la ESPOCH, Extensión Morona Santiago, una vez que hemos revisado y comprobado la culminación del trabajo de titulación “**ESTUDIO DE LAS CARACTERÍSTICAS GEOMECÁNICAS DEL ALUVIAL PARA LA CONSTRUCCIÓN DEL TÚNEL VENTANA 2 DEL PROYECTO HIDROELÉCTRICO QUIJOS**”, se APRUEBA el Informe de Titulación, por lo que se encuentra apto para la Defensa Oral.

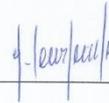
Es en cuanto podemos afirmar en honor a la verdad.

Atentamente,



Ing. Ramiro Pino.

DIRECTOR



Ing. Henry Remache.

MIEMBRO DEL TRIBUNAL

Diciembre, 2015

DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD

Yo, **Christian Paul Cardoso Viracucha**, 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, 15 de diciembre de 2015

Christian Paul Cardoso Viracucha

C.I: 140043558-0

Dedicatoria

A Dios todopoderoso, por brindarme la dicha de la vida, darme salud y persistencia para vencer los obstáculos durante la duración de mi carrera.

A la **Escuela Superior Politécnica del Chimborazo**, nuestra casa que vence las sombras, hogar del conocimiento y de la dignidad, cuyas aulas fueron testigos de los mejores momentos de la carrera.

A los **Catedráticos de la Escuela de Geología, Minas**, por impartirnos sus conocimientos sin usura y formarnos como profesionales de la Geología y Minería.

Al **Ing. Fernando Fierro**, quien estuvo dispuesto en todo momento a ayudarme, motivarme y brindándome buenos consejos.

A la Asociación **ASTECC – Integral**, empresa **LOMBARDI** y **GEORISK**, quienes desde comienzo de este trabajo y hasta el final de la misma han sido más que profesores, mis amigos.

A los Catedráticos Ing. Ramiro Pino e Ing. Henry Remache, por su buena disposición, amistad y contribución en el desarrollo de este trabajo. Dios les de salud y felicidad.

A mi familia, que con cariño y comprensión me ayudaron a continuar en los momentos arduos. Y muy especialmente a mis **Padres**, a mi esposa **JOHANA** y mi hijo **DARIEN** las personas más importante en mi vida, quienes han sido motor impulsor en cada uno de mis pasos enseñándome el valor de la tenacidad y perseverancia para alcanzar mis metas.

Christian Cardoso

ABREVIATURAS

- ASTM:** American Society for Testing and Materials
- CSIR:** Consejo Sudafricano de Investigación Científica e Industrial
- EEQSA:** Empresa Eléctrica Quito S.A.
- ESR:** Radio de Soporte de Excavación
- FC:** Falla Cosanga
- FSA:** Falla Subandina
- GPS:** Sistema de Posicionamiento Global
- Is:** Índice de Carga Puntual
- JCy:** Formación Cuyuja
- JUp:** Formación Upano
- RMR:** Rock Mass Rating, Clasificación de Bieniawski
- OCP:** Oleoducto de Crudo Pesado
- PHQ – B:** Proyecto Hidroeléctrico Quijos – Baeza
- PHQ:** Proyecto Hidroeléctrico Quijos
- SCHE – 1:** Sondeo Chimenea de Equilibrio 1
- SFR:** Factor de reducción debido a tensiones en el macizo
- Sistema Q:** Calcificación de Barton

Contenido

	Pág.
ABREVIATURAS	iii
LISTA DE GRAFICOS	viii
LISTA DE CUADROS	.x
LISTA DE FOTOS	xi
LISTA DE ANEXOS	xii
I. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1. Justificación.....	1
1.1.1. <u>Justificación Teórica.....</u>	2
1.1.2. <u>Justificación Metodológica.....</u>	2
1.1.3. <u>Justificación Aplicativa.....</u>	3
1.2. Objetivos.....	3
1.2.1. <u>Objetivo principal.....</u>	3
1.2.2. <u>Objetivos específicos.....</u>	3
1.3. Hipótesis.....	3
1.4. Características del lugar.....	4
1.4.1. <u>Localización.....</u>	4
1.4.2. <u>Acceso.....</u>	4
1.4.3. <u>Características climáticas.....</u>	6
1.4.4. <u>Vegetación.....</u>	7
1.4.5. <u>Suelo.....</u>	8
II. REVISIÓN DE BIBLIOGRAFÍA EXISTENTE.....	12
2.1. Marco Geológico.....	12
2.1.1. <u>Geología Regional.....</u>	12
2.1.2. <u>Marco Geotectónico regional.....</u>	20
2.2. Geomorfología.....	23
2.3. Hidrología.....	29
2.4. Geología de la Ventana 2.....	27

III.	MATERIALES Y MÉTODOS.....	32
3.1.	Materiales y equipos.....	32
3.2.	Metodología.....	32
IV.	INVESTIGACIÓN DE LOS PARAMETROS QUE CONTROLAN LA GEOMECANICA DEL TUNEL VENTANA 2.....	34
4.1.	Caracterización de La Humedad.....	34
4.2.	Caracterización de la permeabilidad.....	36
4.3.	Caracterización de la granulometría.....	39
4.4.	Caracterización del esponjamiento.....	42
4.5.	Caracterización de la cohesión.....	43
4.6.	Capacidad de carga.....	45
4.7.	Limite plástico y limite líquido.....	46
V.	RELACIÓN DE LOS DIFERENTES PARÁMETROS GEOMECAÍNICA PARA LA CLASIFICACIÓN.....	52
5.1.	Clasificación de Terzaghi (1925 - 1946).....	52
5.2.	Clasificación de BIENIAWSKI. Rock Mass Rating (RMR).....	56
5.3.	Clasificación de Barton (Sistema Q).....	65
VI.	ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS Y DEFINICIÓN DEPARAMETROS GEOMECAÍNICOS DEL ALUVIAL DE LA VENTANA 2.....	76
6.1.	Análisis Geomecánico del Aluvial.....	76
6.2.	Definir la clasificación del aluvial en base de los parámetros planteados.....	80
6.3.	Recomendar los tipos de sostenimiento requeridos y definir los rendimientos de avance de excavación.....	87
VII.	CONCLUSIONES.....	89
VIII.	RECOMENDACIONES.....	91
IX.	RESUMEN.....	92

X.	SUMMARY	93
XI.	BIBLIOGRAFÍA	94
XII.	ANEXOS	96

LUGAR DE REALIZACIÓN:**PROYECTO HIDROELÉCTRICO “QUIJOS”**

Parroquia Cuyuja,
Cantón Quijos,
Provincia de Napo.

EMPRESA CONSTRUCTORA

China National Electric Engineering CO. LTD (CNEEC)

**EMPRESA DE FISCALIZACIÓN**

ASTEC – INTEGRAL



LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1: Ubicación General del proyecto Hidroeléctrico Quijos.....	5
Gráfico 2: Climatología de la zona de estudio.....	6
Gráfico 3: Imagen LADSSAT.....	20
Gráfico 4: Morfología Regional del Proyecto.....	25
Gráfico 5: Porcentaje de humedad en bóveda.....	35
Gráfico 6: Porcentaje de humedad parte baja frontón.....	35
Gráfico 7: Promedio general de la humedad en todo el frontón.....	36
Gráfico 8: Grafica de permeabilidad de la ventana 2.....	38
Gráfico 9: Granulometría de partículas.....	40
Gráfico 10: Curva granulométrica Muestra 10. Ventana 2 PHQ.....	41
Gráfico 11: Proceso de determinación de Límites de Atterberg.....	47
Gráfico 12: Carta de plasticidad de Casagrande.....	49
Gráfico 13: Curva Limite líquido. Muestra 5, Ventana 2 PHQ.....	50
Gráfico 14: Curva Limite líquido. Muestra 8, Ventana 2 PHQ.....	51
Gráfico 15: Esquema de Terzaghi que representa el movimiento de roca suelta y la transferencia de carga de la roca circundante.....	53
Gráfico 16: Curva relación Factor de carga vs RQD	54
Gráfico 17: Curva de relación Resistencia de compresión uniaxial vs Puntaje.....	59
Gráfico 18: Curva de relación RQD vs Puntaje.....	61
Gráfico 19: Curva de relación Espaciado de discontinuidades vs Puntaje.....	62
Gráfico 20: Claro activo utilizando RMR.....	65
Gráfico 21: Valores de Índice Q con tipos de Roca.....	66
Gráfico 22: Abaco actualizado para el proyecto Hidroeléctrico Quijos con Índice Q...75	75
Gráfico 23: Grafica de compresibilidad (consolidación) de una muestra del portal PHQ ventana 2.....	78
Gráfico 24: Relación de vacíos en función del esfuerzo en muestras inalteradas.....	78
Gráfico 25: Resistencia la corte típico en los materiales estudiados de la zona portal del PHQ ventana 2.....	79
Gráfico 26: Curva Resistencia a la compresión Uniaxial.....	80
Gráfico 27: Sección Típica de Ventana 2 PHQ.....	82
Gráfico 28: Valores de Hp vs RQD.....	83

Gráfico 29: Relación de RQD y Espaciado de discontinuidades en la clasificación Geomecánica de Bieniawski.....	84
---	----

LISTA DE CUADROS

Cuadro 1: Peligrosidad debida a fenómenos Geológicos.....	21
Cuadro 2: Valores típicos de Permeabilidad en roca.....	37
Cuadro 3: Valores típicos de Permeabilidad en suelo.....	38
Cuadro 4: Granulometría de la muestra 10. Ventana 2 PHQ.....	41
Cuadro 5: Densidades del material en banco y suelto, para los casos más frecuentes del movimiento de tierras.....	43
Cuadro 6: Valores típicos de Cohesión y ángulos de fricción en roca.....	44
Cuadro 7: Parámetros para determinar Is. Laboratorio muestra 4, ventana 2.....	46
Cuadro 8: Valores de límite plástico y límite liquido en laboratorio. Muestra 5, Ventana 2.....	50
Cuadro 9: Valores de límite plástico y límite liquido en laboratorio. Muestra 8, Ventana 2.....	51
Cuadro 10: Tabla de clasificación Terzaghi (modificada por Deere, 1970).....	55
Cuadro 11: Clasificación Geomecánica RMR. Fuente Fiscalización del Proyecto Hidroeléctrico Quijos 2012.....	57
Cuadro 12: Valores de resistencia a la compresión uniaxial.....	58
Cuadro 13: Descripción de valores de RQD.....	60
Cuadro 14: Valores de espaciado entre discontinuidades.....	61
Cuadro 15: Puntaje por condición de discontinuidades.....	62
Cuadro 16: Valores y puntaje por condición de agua subterránea.....	63
Cuadro 17: Orientación de discontinuidades.....	64
Cuadro 18: RQD por número de diaclasas.....	66
Cuadro 19: Número de familia de juntas.....	67
Cuadro 20: Clasificación de Índice de rugosidad de juntas.....	68
Cuadro 21: Clasificación de índice de alteración y relleno de juntas.....	68
Cuadro 22: Clasificación presencia de agua.....	69
Cuadro 23: Clasificación SFR completa.....	70
Cuadro 24: Cuadro de clasificación ESR.....	71
Cuadro 25: Determinar sostenimiento de hormigón con índice Q.....	73
Cuadro 26: Resumen de parámetros.....	76
Cuadro 27: Resumen de puntajes RMR para la Ventana 2 PHQ.....	85

LISTA DE FOTOGRAFÍAS

Foto 1: Depósitos Volcánicos de varios eventos eruptivos del Antisana.....	28
Foto 2: Vista del portal de ingreso de la Ventana 2.....	29
Foto 3: Realizando el registro litológico del sondeo SCHE – 1.....	31
Foto 4: Delimitación de los eventos volcánicos.....	77

LISTA DE ANEXOS

Anexo A: Glosario de términos

Anexo B: Proceso de destape para llegar a solera del túnel Ventana 2

Anexo C: Registro Geotécnico del sondeo SCHE – 1

Anexo D: Registro de Pruebas de laboratorio

Anexo E: Guía de utilización del formato RMR, y guía para utilizar el Índice Q. Para el Proyecto Hidroeléctrico Quijos

Anexo F: Planos de licitación y cortes Geológicos PHQ

I. INTRODUCCIÓN

El Gobierno de la República del Ecuador en vista del continuo crecimiento de la demanda de energía del país y considerado que el sector eléctrico es estratégico para el desarrollo económico y productivo de la Nación, se encuentra haciendo inversiones en proyectos de mediana y baja potencia para garantizar el suministro de energía requerido por el sector eléctrico, es así que dentro de este plan de electrificación, la Empresa Eléctrica Quito S.A. en su afán de solucionar el déficit de energía, ha previsto la construcción y operación del **Proyecto Hidroeléctrico Quijos (50 MW)**.

El Proyecto Hidroeléctrico Quijos se encuentra ubicado aproximadamente a 80 km. al sureste de la ciudad de Quito y a 8 km de la población de Baeza, el cual tiene como propósito la producción de energía mediante la utilización de las aguas de los ríos Victoria, Papallacta y Quijos, en el tramo comprendido entre la población de Cuyuja y la confluencia de los ríos Papallacta y Quijos. La **Empresa Eléctrica Quito S.A. (EEQSA)**, concesionó la elaboración de “Los estudios y diseños para el Proyecto Hidroeléctrico Quijos”, al consorcio de compañías **ASTECC- INTEGRAL**

1.1. Justificación.

La oportunidad que brinda esta obra importante de ingeniería como es el Proyecto Hidroeléctrico Quijos, nos permite realizar una proposición de carácter técnico-científico referente a la planificación y ejecución de actividades de excavación del túnel denominada “Ventana de Acceso 2” del proyecto hidroeléctrico en mención, enfocando específicamente en la determinación de los parámetros que controlan el comportamiento Geomecánico del material rocoso (aluvial) puntualizando en: humedad, permeabilidad, cohesión, granulometría, capacidad de carga, esponjamiento, y límites plástico-líquido, con el afán establecer tres factores predominantes que pudieran afectar al sostenimiento del túnel (obras subterráneas) en el macizo rocoso utilizando las clasificaciones Geomecánicas de:

- Terzaghi.
- Bieniawski (índice RMR).
- Índice Q de Barton.

Y de tal manera contar con criterios técnicos acordes al conocimiento científico actual para la instalación del sostenimiento del túnel Ventana 2 del **PHQ** y establecer las medidas técnicas a considerar para la extensión de plazo de tiempo útil del acceso.

1.1.1. Justificación Teórica

Dentro de la clasificación Geotécnica existen varias teorías en base a estudios científicos de aplicación, para cada uno de los tipos de rocas en cualquiera de sus denominaciones como son: Ígnea, Sedimentaria y Metamórfica. Dentro de todos estos estudios no existe una clara interpretación para algunos tipos de materiales, los cuales son comunes en Ecuador ya que por su variabilidad de ambientes y afectadas por su volcanismo hace que estas teorías de clasificación sean ambiguas en su funcionalidad, por ende este proyecto busca aplicaciones prácticas y fundamentadas para este material (aluvial), en parámetros medible y sistemas de clasificación determinantes; Terzaghi, Bieniawski y Barton comúnmente referentes en construcción de túneles en minería, obras civiles e hidroeléctricas, no tienen parámetros referenciales a la clasificación en túneles en aluviales.

Con este estudio se busca definir los parámetros Físico – Mecánicos de la excavación en aluviales y obtener los parámetros que permitan dar la mejor solución para el sostenimiento del túnel Ventana 2.

1.1.2. Justificación Metodológica

La etapa inicial del estudio, corresponde a la revisión de bibliografía sobre la geología y características litológicas de las formaciones que afloran en la zona del proyecto hidroeléctrico; de este análisis se buscare parámetros geotécnicos determinados para esta unidades litológicas, luego de esto, se realizarán actividades de observación y análisis de núcleos de perforación almacenados en el campamento de la Ventana 2 y que corresponde a los estudios preliminares realizados en la zona.

Además se va realizar el muestreo y el análisis de laboratorio mediante el estudio de los parámetros: Humedad, Permeabilidad, Granulometría, Esponjamiento, Cohesión, Capacidad de carga, Limite plástico y limite liquido; con los cuales se efectuará un

análisis comparativo con los datos referidos por los diferentes autores Terzaghi (1925 - 1946); Bieniawski. (Rock Mass Rating (RMR)); Barton (Sistema Q).

Además estos estudios servirán de base para realizar las interpretaciones y establecer definiciones acorde a las características de litología y geotécnicas del material aluvial objeto del estudio.

1.1.3. Justificación Aplicativa

Los resultados de este estudio, en función de las propiedades físicas mecánicas de rocas se aplicaran es el desarrollo de las actividades de excavación y definición del sostenimiento del túnel ventana 2 del **Proyecto Hidroeléctrico QUIJOS** y posteriormente en la excavación de los túneles del Metro de Quito.

1.2. **Objetivos.**

1.2.1. Objetivo general.

Definir una clasificación Geomecánica que permita determinar el comportamiento geotécnico de la masa aluvial donde se construirá el túnel de acceso Ventana 2 del **Proyecto Hidroeléctrico Quijos 50 Mw.**

1.2.2. Objetivos específicos.

- a. Definir la relación entre el modelo litológico y el comportamiento del material aluvial
- b. Elegir el diseño del sostenimiento del macizo rocoso excavado, en función de los parámetros Geomecánicas calculados y levantamientos Geotécnicos realizados.

1.3. **Hipótesis.**

El análisis del material aluvial en los parámetros físicos químicos delimitados en los sistemas de clasificación Terzaghi, Bieniawski y Barton permitirá obtener

cuantificaciones técnicas para definir el sostenimiento del túnel Ventana 2 del “**Proyecto Hidroeléctrico Quijos 50 Mw.**” De tal manera garantizar el tiempo de vida útil de la obra y proyectar consideraciones en las medidas de seguridad en su construcción y operación.

1.4. Características del lugar.

1.4.1. Localización.

Las obras principales y complementarias del Proyecto Hidroeléctrico Quijos, se encuentran ubicadas entre las localidades de las parroquias Cuyuja y Baeza, Cantón Quijos, provincia de Napo. La Central Quijos estará ubicada a 80 km. al sureste de Quito, accediendo por carreteras de segundo y tercer orden, con un todo asfaltado y lastrado hasta las obras proyectadas en el río Papallacta y Casa de Máquinas. Geográficamente la cuenca Papallacta-Quijos (hasta la estación limnigráfica Quijos en Baeza), está comprendida entre las longitudes 77°54' a 78°15'W y entre las latitudes 0°14' a 0°36'S.. Las diferentes obras del **PHQ-B** se encuentran entre las siguientes coordenadas geográficas (Longitud 83°58'24.07'' Latitud 0°26'1.26'') y (longitud 83°54'37.94'' latitud 0°27'38.93'').

La mayor parte de las obras de la Central Quijos están localizadas en la meseta del Huila, que se encuentran rodeadas por los ríos Papallacta y Quijos. Está constituida por flujos volcánicos sobre lahares, paleocanales, aluviales y basamento metamórfico.

1.4.2. Acceso.

- A la zona del proyecto se accede por la carretera Quito-Papallacta-Baeza, que se encuentra asfaltada en su totalidad; aproximadamente a 90 km. se encuentra la población de Cuyuja.
- Dese la población de Cuyuja hacia la ventana 2 se recorre una distancia de 7 km. aproximadamente.

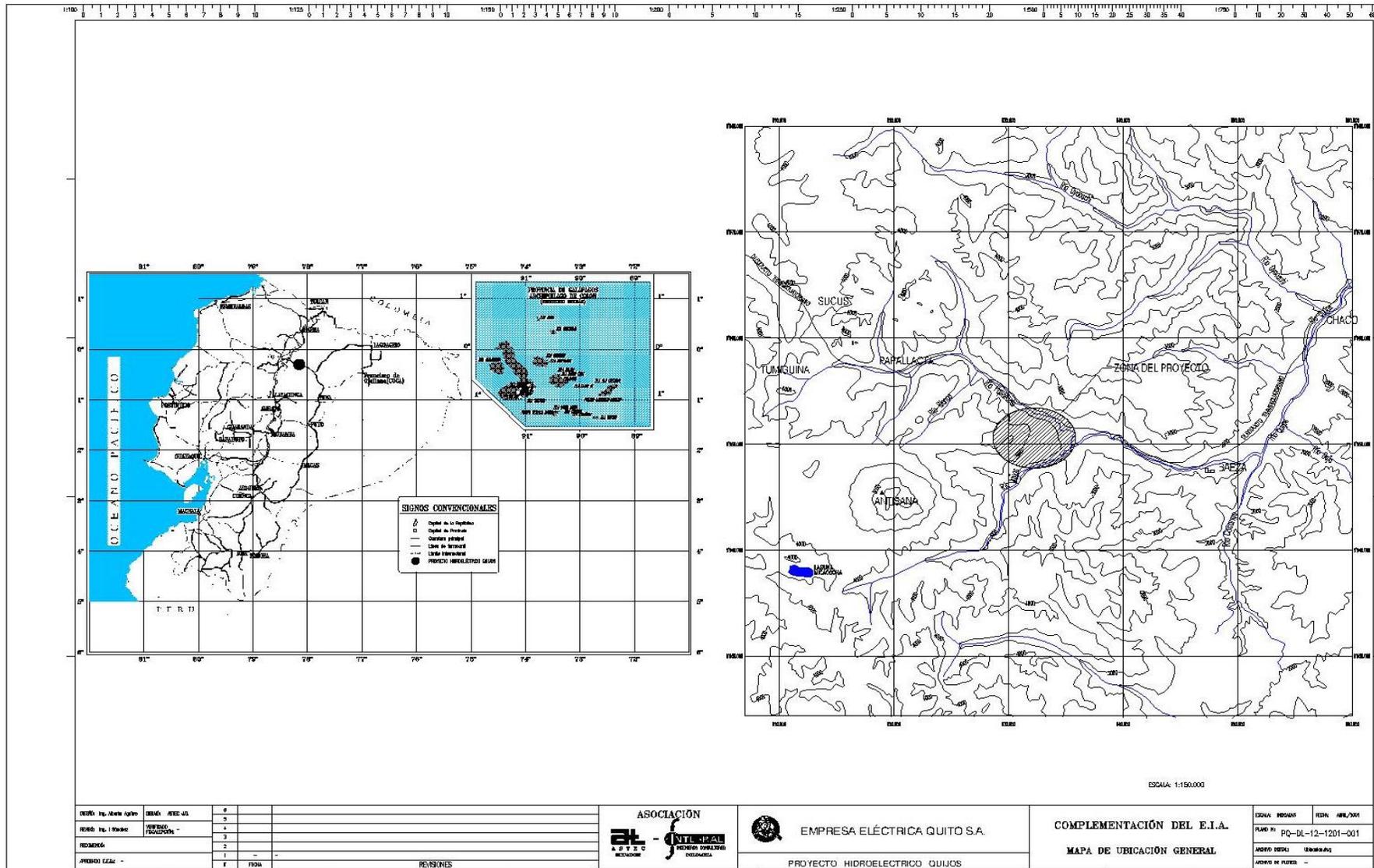


Gráfico 1.- Ubicación General del Proyecto Hidroeléctrico Quijos

1.4.3. Características climáticas.

Temperatura promedio anual: cuenca fluctúan entre los 0°C (mínima absoluta en Papallacta) hasta los 29,8°C (máxima absoluta en Baeza).

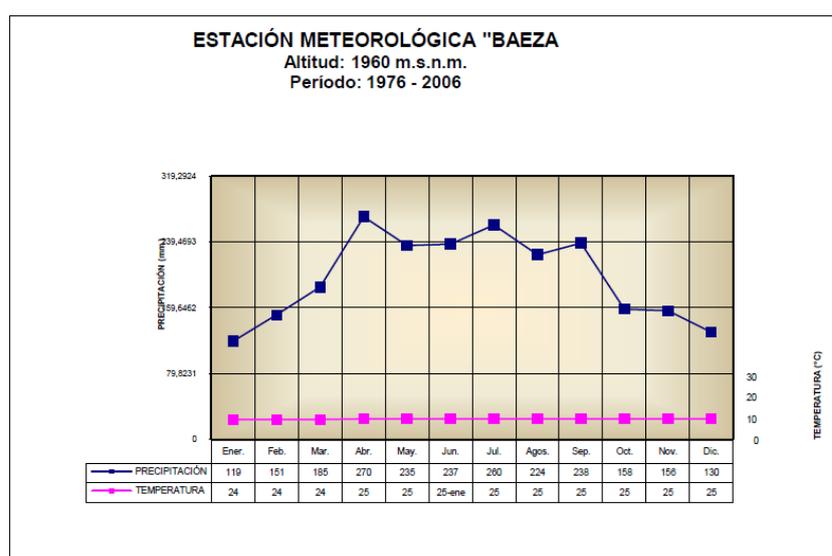
Precipitación promedio anual: aproximadamente los 1.300 mm/año en las cabeceras más occidentales de la cuenca hasta los 1.950 mm/año en la confluencia Papallacta- Quijos (año medio).

Humedad relativa: va desde los 38% (mínima en Papallacta) hasta el 100% (máxima detectada en todas las estaciones)

Velocidad y dirección del viento.

La información de vientos es la más escasa, solo Baeza y Papallacta disponen de registros en el interior de la cuenca, los vientos promedios registrados corresponden a lecturas del observador, en la Veleta Wild realizadas a inicio de la mañana, medio día y al finalizar la tarde, los valores son: 28 km/hora en Papallacta y en el Reventador 41 km/hora

Grafico 2: Climatología de la zona de estudio



Fuente: Mapa Bioclimático del Ecuador. Cuadro No. 8. Climatología. Luis Cañadas, 1983.

Los vientos en el sector miso de la ventana 2 tiene promedios de velocidad de 1,6 metros por segundo, los vientos son más fuertes a las 13 horas.

No hay procesos frecuentes de nubosidad y el cielo tiene menos de 1/4 completamente nublado en todo el año, por lo que podemos mencionar que la nubosidad es menor a 2/8 y el porcentaje de nubosidad es menor al 25%.

1.4.4. Vegetación.

Según el Catálogo de plantas Vasculares que usa las formaciones de vegetación del Ecuador de acuerdo a Harling, la vegetación de la zona de influencia del Central Quijos-Baeza 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 (Neill, 1999)¹.

El tipo de vegetación debido a la intervención antropogénica en la mayoría del área de influencia del proyecto la vegetación se cataloga como pastizales y remanentes de bosque secundarios.

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.

En este tipo de bosque dominan las especies pioneras entre las más abundantes tenemos a: *Chusqueaspp*, *Erythinaedulis*, *Barnadesiaparviflora*, *Trema micranta*, *Heliocarpusamericanus*, *Baccharis latifolia*, *Piperspp*, *Miconiaspp*, *Inga spp* y *Cecropiaspp*.

¹ Neill.(1999).Catalogue of the Vasicular plants of Ecuador. MisurriBot. Grad. 75

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*.

Los cultivos son por demás esporádicos y corresponden a especies de ciclo corto y únicamente sustentan el autoconsumo, al menos en la zona de influencia del proyecto, las plantas cultivadas corresponden a: *Zea mays*, *Brassica oleracea*, *Saccharum officinarum*, *Capsicum annum*, *Persea americana*, entre las más representativas.

1.4.5. Suelo.

El uso actual y potencial del suelo está dedicada a plantaciones forestales, cultivos, pastos, bosques, como a actividades agrícolas-ganaderas (haciendas: vacuno, ovino, avícola y porcino) y agroindustriales (piscícolas), turismo y recreativas (piscinas, senderos ecológicos y contemplación del paisaje). También, se localizan las estaciones de Bombeo de Papallacta, Chalpi Chico, Baeza como tanques de combustibles y reservorios de agua. El oleoducto transecuatoriano cruza el proyecto con el **OCP**.

La cobertura del suelo se encuentra con vegetación estratificada baja y alta. La baja está relacionada con diferentes clases de pastos (ganadería), arbustos, matorrales y hierbas típicas de las zonas de páramo y subtropical mientras que en el alta se circunscribe casi a las zonas medias y altas compuestas por bosques secundarios los cuales se circunscriben a las zonas altas o de escarpes abruptos en la zona. Los suelos (horizonte A/B) corresponde a colores café claro-oscuro, crema-beige, pedregosos, alto porcentaje de contenido de humus y raíces, areno-limoso con trazas de arcilla con

diferente porcentaje, contenido medio a alto de humedad, temperatura ambiente $\pm 16^{\circ}\text{C}$, nivel freático de escasa profundidad (0-5m).

La diversidad encontrada en los muestreos cuantitativos es escasa y representa numéricamente la intervención humana sobre estos hábitats. La vegetación de casi la totalidad de la zona de influencia es repetitiva y corresponden en la mayoría de casos a especies pioneras o árboles dejados a propósito, para cumplir otras finalidades como protección del ganado, cercas vivas y para el aprovechamiento de sus frutos. La vegetación conspicua o representativa se refugia en las orillas de los ríos y quebradas, zonas inaccesible y pendientes pronunciadas, es aquí donde se puede apreciar la estratificación típica del bosques. Dentro del área de influencia del proyecto Quijos-Baeza, se puede aún apreciar especies maderables y de valor económico tal es el caso del cedro y nogal, dichas especies al parecer fueron dejadas con la finalidad de un aprovechamiento posterior. Se registró siete especies endémicas en la fase de campo, dentro de la zona de influencia del proyecto, la mayoría de estas especies se localizan en un solo sector aledaño a la chimenea de equilibrio del Central Quijos, es ésta también la que presenta la mayor diversidad dentro del proyecto.

El deterioro de la zona de estudio ha contribuido al desplazamiento de las especies de fauna que habitualmente ocupaban este nicho. La constante y agresiva presencia humana con sus múltiples acciones han fragmentado de manera casi irreversible los hábitats y con ello se deteriora el posible desplazamiento de especies que requieren grandes extensiones para su supervivencia. Las especies registradas mediante observación directa o indirecta son por demás escasas debido a la alteración del hábitat.

Se determinó en la zona de amortiguamiento que existen 2 formaciones vegetales en el área de influencia directa bosque siempre verde montano alto, bosque siempre verde piemontano². Los índices de diversidad son bajos, los valores obtenidos mediante el índice de Simpson indican (0,06 y 0,1) una diversidad baja ya que el valor máximo que puede alcanzar este índice es de uno. El índice de Shannon – W determina que existe mayor diversidad en la formación vegetal bosque siempre verde montano alto, esto se debe a que este índice extiende un peso relativo a la riqueza de las especies,

² Sierra, R (1999). Propuesta Preliminar de un sistema de clasificación de vegetación para el Ecuador Continental. Quito, Ecuador

tiene una sensibilidad alta al tamaño de la muestra. El bosque siempre verde montano alto está altamente intervenido en el área de influencia directa, predomina los pastizales y el ganado vacuno alrededor de unas 300 cabezas de ganado de la Hacienda Esperanza. El bosque siempre verde piemontano es menos afectado por la presencia de ganado vacuno, sin embargo se pudo observar extensiones de pastizales.

En la parte alta del proyecto, fuera de la hacienda La Esperanza en el sector denominado “La Cuchilla” existe un remanente de bosque en el que se pudo observar algunas especies de aves. Se observó una gran dominancia de aves insectívoras con el 50%, el segundo gremio alimenticio son aves frugívoras, el siguiente grupo son los nectarívoros, y con una especie Carnívoros, Carroñeros y Piscívoros.

La estimación de la diversidad herpetofaunístico de los puntos de muestreo presenta un ecosistema con una baja diversidad. La medida de diversidad de Shannon de acuerdo con los rangos propuestos por **Magurran**³, factores tales como: condiciones climáticas, estado lunar y esfuerzo de captura durante el muestreo influyen en el resultado de este índice. Los anfibios y reptiles registrados en los puntos de muestreo están relacionados en un 80% al suelo o sustrato bajo; esto ligado al hecho de que los anfibios y reptiles no presentan una movilidad grande en el bosque, sus poblaciones se afectarían en el desbroce de la vegetación, por la fragmentación de sus micros hábitats. Sus poblaciones, su tasa de incremento o natalidad podrían estar amenazadas por la construcción del proyecto.

Al realizar la evaluación biológica de los ríos Papallacta, Quijos y Paradalarca, el índice de diversidad de Shannon-Wiener calificó como aguas moderadamente contaminadas para el río Papallacta; aguas limpias en la parte alta del río Quijos, aguas moderadamente contaminadas en la cuenca baja del río Quijos que se encuentra cercana al poblado de Baeza que es un factor determinante para que la calidad del agua se vea alterada, el río Paradalarca presenta aguas moderadamente contaminadas debido a que en las zonas aledañas están dedicadas a la ganadería. Se determinó también que para el río Papallacta la diversidad es media, el río Quijos en su cuenca alta con una diversidad alta que debido al difícil acceso ha podido conservar el ecosistema y por ende mantener

³ Magurran, A. (1987). Diversidad Ecológica y su medición. Vedrá. España

el equilibrio en este tramo de la cuenca, la cuenca baja del Quijos con diversidad media, de la misma manera el río Paradalarca presenta una diversidad media.

Se concluyó que el río Papallacta presenta aguas moderadamente contaminadas, mientras que el río Quijos en la cuenca alta presentó una clase aceptable pero evidenciando efectos de contaminación, en la cuenca baja del mencionado río dio una clase aceptable con moderado efecto de contaminación porque este tramo se ve afectado antropogénicamente por el poblado de Baeza; El río Paradalarca presentó aguas muy contaminadas, esta calificación es debido al deslave producido días antes del muestreo por efectos del invierno que es un factor determinante para que la biota acuática disminuya y no se pueda calificar de una manera precisa. Se pudo colectar un total de 1404 individuos pertenecientes a la clase Insecta y Oligochaeta; en la clase Insecta se reconocieron cinco órdenes Ephemeroptera, Diptera, Trichoptera, Coleoptera, Plecoptera distribuidos en 18 Familias, 25 géneros y 29 morfo especies.

La familia Baetidae es la más abundante con 7 géneros, seguida por las familias Chironomidae, Tipulidae e Hydroptilidae con 3 géneros.

La zona de estudio al parecer no es territorio de pesca, esta no es una labor cotidiana de los pobladores, con lo que se concluye que las especies de peces están escasamente representes en casi toda el área de estudio. Las técnicas de pesca y/o los horarios no proporcionaron los resultados esperados en los lugares muestreados. La captación y desvío de las aguas de los ríos Quijos y Papallacta, contribuirán al deterioro de las escasas poblaciones de especies nativas de *Astroblepus* presentes en estos ríos⁴.

⁴ Estudio de Impacto Ambiental. (2010). Proyecto Hidroeléctrico Quijos – Baeza

II. REVISIÓN DE BIBLIOGRAFÍA EXISTENTE

2.1. Marco Geológico

2.1.1. Geología Regional

El área investigada 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 con esquistos verdes con presencia de grafito y carbonatos (esquistosidad) y esquistos semipelíticos con presencia de grafito, carbonato (foliación). Paquetes que se presentan con deformación, plegamiento y dislocación; fallas inversas-dextrales (NNE/SSW) de alto y medio ángulo producto de esfuerzos compresivos principalmente.

De las observaciones en el campo, los productos emitidos por el volcán activo Antisana ocupan zonas “altas” como los flujos de lodo (lahares) cuaternarios (terrace de Huila-La Esperanza) los cuales fueron levantados durante el plioceno.

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 están dispuestas de oeste a este.

La parte occidental (fuera del área de estudio), está dominada por la presencia de materiales volcánicos terciarios y cuaternarios, pertenecientes a la Formación Pisayambo y a estratovolcanes modernos, respectivamente. Siguiendo 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. Finalmente, hacia el oriente de Baeza afloran areniscas, calizas y lutitas negras semimetamórficas de las formaciones Cretácicas Tena y Napo (Grupo Margajitas)⁵.

Ocupando una parte importante del área, se encuentran rocas volcánicas que posiblemente extruyeron por fisuras conformando un amplio manto cubierto a la vez por depósitos laharíticos y materiales fruto de deslizamientos y de caída de cenizas, se presenta a manera de una gran terraza limitada hacia el occidente tanto por una falla como por rocas metamórficas y, hacia el norte y sur por los ríos Papallacta Quijos, los mejores afloramientos de estas rocas se observan en los escarpes de dichos ríos, donde presentan estructuras columnares típicas del enfriamiento de lavas andesitas-basálticas, posiblemente holocénicas.

Depósitos aluviales, conformados por bloques, cantos, gravas arenas y limos provenientes de rocas volcánicas y metamórficas, son depósitos sueltos y descansan junto a las orillas de los ríos principales.

Depósitos coluviales, son escombros de deslizamientos se acumulan generalmente al pie de las laderas con fuertes pendientes, son materiales desprendidos de los taludes, es una mezcla caótica de materiales heterolitológicos de distintos tamaños y de formas generalmente angulosas.

Lahares, si bien en las fotografías aéreas no son claramente diferenciables; por la proximidad de la zona con el volcán Antisana, es muy probable que estos depósitos en ciertos casos se encuentren formando terrazas en los cauces de los ríos y quebradas principales. Deberán ser identificados y descritos mediante trabajos de campo.

Laderas coluvionadas, en varios lugares dentro del área de estudio se identifican estos terrenos algo inestables sobre superficies muy inclinadas, entre 10 y 45 grados, generalmente son suelos residuales que han reptado por las pendientes quedando

⁵ Bristow, C. (1975). *Léxico Estratigráfico del Ecuador*. Paris: CNRS

prácticamente suspendidos y pegados a las laderas, en ciertos casos son aprovechados como terrenos de cultivo. Conos de deyección, por su tamaño y la escala de las fotos no han podido ser mapeados.

a. **Formación Upano (JUp)**⁶

De acuerdo con la descripción realizada por Litherland et al., el año 1994, en el sector de la Cordillera Real se presentan rocas vedes andesíticas metamorfizadas, esquistos verdes y meta grauvacas intercaladas con esquistos pelíticos y grafíticos, que forman un cinturón casi continuo de hasta 15 km de ancho a lo largo del borde oriental de la Cordillera Real.

La sección tipo está ubicada en la carretera Guamate-Macas a lo largo del Río Upano. Buenos afloramientos ocurren a lo largo de la carretera Papallacta -Baeza y en las secciones de los ríos Upano, Cosanga y Oyacachi. Contactos con otras unidades se consideran tectónicos pero aquellos con la Unidad Cuyuja son transicionales (Duque & López, 1996). La Unidad Upano incluye la Formación Margajitas de Tschoop (1948). Su origen es desconocido; Feininger & Silberman (1982) dataron una edad K-Ar de 54 ± 2 Ma.; Litherland et al., 1994, la consideran asociada con el Plutón Azafrán del Jurásico/Cretácico; Baldock (1982) la asocia con la Formación Napo del Cretácico.

En el sector de Baeza hacia Cuyuja es clara una progresión metamórfica de E a W, donde filitas con características de la Formación Napo pasan a esquistos (Duque & López, 1996).

b. **Jurásico Formación Cuyuja. (JCy)**⁷

La descripción realizada por Litherland et al. En 1994 define a esta formación al norte de la cordillera Real, El autor indica que se presenta bien expuesta en los alrededores de Cuyuja (sobre la carretera Papallacta -Baeza), Formando un cinturón de

⁶ Duque, P. (2000). Breve léxico Estratigráfico del Ecuador. UPC PRODEMINCA. Pág. 83.

⁷ Duque, P. (2000) Breve léxico Estratigráfico del Ecuador. UPC PRODEMINCA. Pág. 25.

hasta 10 km de ancho dentro del complejo de napas Cuyuja. Está compuesta por esquistos pelíticos grafiticos (cuarzo - albita - moscovita \pm clorita \pm cloritoide \pm granate \pm biotita \pm cianita \pm grafito \pm apatito \pm sulfuros) cruzados por vetas de cuarzo que contienen cianita.

En la base de Cerro Hermoso se han desarrollado cordierita y sillimanita por metamorfismo de contacto (Litherland et al., 1994). El contacto con la Unidad Upano es transicional y parece haber una similitud composicional con la Formación Napo (Duque & López, 1996). Duque, 1984, considera que los protolitos son pelitas verdaderas y sugiere condiciones de metamorfismo en la facies de esquistos verde dentro de una serie de facies de presión intermedia. Litherland Et al., 1994, asocian a la Unidad Cuyuja con las unidades Upano y Cerro Hermoso dentro de su Terreno Salado.

La edad es controversial. Kennerley, 1980, cita edades K-Ar en biotita y moscovita de 82 ± 3 Ma que podrían corresponder al metamorfismo. Litherland et al, 1994, prefieren una edad Jurásica y un metamorfismo relacionado al evento Peltetec (~ 120 Ma). La sugerida continuidad composicional con la Formación Napo (Duque & López, 1996) implicaría una edad y un metamorfismo más jóvenes.

c. Formación Pisayambo⁸.

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, J.B., 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-B, al sur y sur este, estas rocas pliocénicas se hallan sobre las rocas más antiguas pre-cretácicas (metamórficas). Los productos volcánicos

⁸ Duque, P. (2000) Breve léxico Estratigráfico del Ecuador. PC PRODEMINCA. Pág. 48

emitidos por el Antisana (5758 m.s.n.m.), estrato volcán activo cubierto con glacial, corresponden a 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, cenizas (pómez, líticos), productos piroclásticos y flujos de lava (fisural) como el de Papallacta (2880 m.s.n.m.), conocido como Potrerillos, cerca de la laguna del mismo nombre (vía principal de acceso al proyecto PHQ-B) con un recorrido aproximado de 20 kilómetros; la terraza de Huila (2591 m.s.n.m.) 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 (2390 m.s.n.m.) se observan (Longitud 83°53'23.11" - latitud 0°24'41,65") 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; éstas forman parte de la base de la terraza amplia de Huila-La Esperanza de dirección oeste- este.

En la imagen landsat TM, se observa claramente los flujos de los derrames lávicos distribuidos en forma radial desde el centro del edificio volcánico hacia el área del PHQ-B. La composición litológica corresponde a rocas dacíticas con presencia de los siguientes minerales: olivino, augita, plagioclasas, hiperstena y cuarzo.

d. Cuaternario: terrazas aluviales y depósitos coluviales⁹.

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, Huagrayacu y Machángara.

⁹ Battaglia, D. (2014). Informe Geológico – Geotécnico. **GEORISK**

Los depósitos más conspicuos se localizan en la unión de los ríos Papallacta- Quijos, donde se implantará la casa de máquinas Quijos, y a la unión del río Huagrayacu con el río Quijos, donde se implantará la casa de máquinas Baeza, desde este sitio hasta la ciudad de Baeza la terraza se amplía en los dos ejes (ancho y largo).

Estos depósitos se hallan conformados por materiales policmíticos-heterolíticos 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 (arcilla-limo-arenosa a guijas grandes), 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 m., observándose tres niveles de terrazas (escalonados) con un nivel de altura de alrededor de 5 a 10 m respecto al río Quijos (Latitud 0°26'3,04'' – longitud 83°51'33,93'') 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 (Papallacta- Quijos) que socavan las paredes laterales. Estos sitios constituyen zonas de inundación o desbordamiento (crecida) del río que depende de los ciclos estacionales (invierno/verano), aporte de material (deslizamientos/derrumbes, etc.) y de la acción antrópica en el área (corte, rellenos, limpieza y mantenimiento de taludes en la vía (E-20) tramo Cuyuja-Baeza.

Tanto el sitio de la casa de maquina Quijos (181693,22E - 9951902N) como Baeza (181766,41E - 9949334N) donde se implantaran estas obras de infraestructura son zonas de terrazas de niveles 1 a 3, con alturas sobre el río Quijos mayor a 5 m., pero ubicadas al pie de zonas de laderas coluvionadas con cobertura vegetal baja y alta (hierba/arboles).

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 que son observados tanto en la fotografías aéreas como en la imagen landsat TM. 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.

También, se ha observado depósitos de materiales acarreados por las corrientes (depósitos a la salida de la unión de los ríos Papallacta-Quijos, Cuyuja-Papallacta, Victoria-Papallacta, Quinjua Chico-Papallacta, Huarmipag-Papallacta). Estos depósitos fluviales forman abanicos y/o conos de deyección, clasificándose en forma grosera-caótica. Los depósitos están compuestos por bloques de diferente tamaño policmáticos (metamórficos y volcánicos) en una matriz limo-arenosa a arenosa.

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.).

Lahares

Se localizan a lo largo de las riberas de los ríos Papallacta, Quijos y Cosanga. Constituyen 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 Antisana, Sumaco y Pan de Azúcar.

En el área de influencia directa del PHQ-B, estos flujos de lodo (lahares históricos) semi-compactados de color gris pardusco con una matriz de grano medio a grueso provenientes del volcán activo Antisana se los reporta de las perforaciones 25 realizadas en la “meseta” del Huila ubicada a 2591 m.s.n.m., y en forma aislada en los ríos Papallacta y Quijos.

Mientras que los flujos de lodo (lahares) ubicados en el área de influencia indirecta del área PHQ-B en los ríos Quijos y Casanga, pertenecen a las erupciones históricas de los Volcanes activos Sumaco y Pan de Azúcar.

Depósito Glacial y Fluvioglacial

Estos depósitos se localizan en el área de la terraza Huila (2591 m.s.n.m.) formando la parte superior de la terraza, conformadas por material 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).

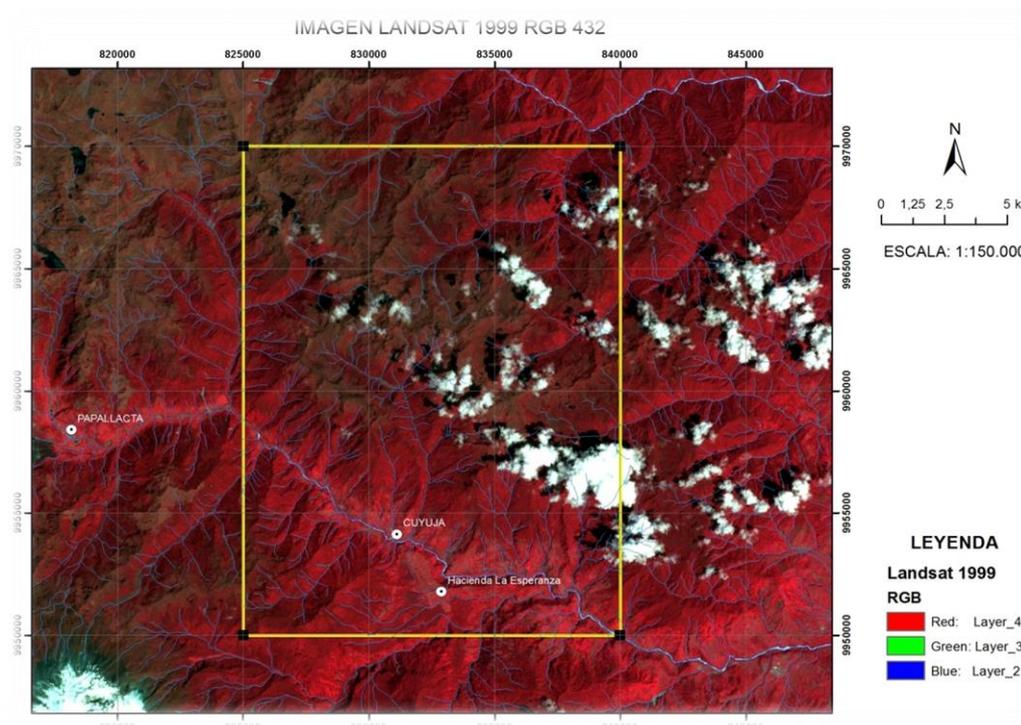
Depósitos fluvioglaciares se localizan en la divisoria de aguas entre los ríos Quinjua Grande y Blanco Grande, estos se depositaron sobre los materiales volcánicos lávicos diaclasados y productos en mantos piroclásticos de la Formación Pisayambo y Volcánicos del Antisana.

Depósitos Lacustres

Se menciona (**EEQSA, 2001,**) la presencia de un afloramiento de alrededor de 30m de espesor, que subyace a los depósitos glaciales morrénicos en la terraza de Huila (2400 m.s.n.m.) en el camino de acceso a la hacienda del mismo nombre.

En el punto con coordenadas 17831351E; 9953920N (2450 m.s.n.m.), se encontró un paquete de sedimentos inter-estratificadas de grano medio a grueso, color café oscuro a gris, con capas de milimétricas a decimétricas, sub horizontales (N40E/5W)

Grafico 3: Imagen Landsat



Fuente: Estudio de factibilidad PHQ – B (2010).

2.1.2. Marco Geotectónico regional

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 en esta parte de la Cordillera Real están comúnmente marcados por las siguientes fallas principales, (desde el oeste hacia el este).

- Falla Llanganates controla el contacto entre las Unidades Granito Tres Lagunas y Chiguinda.
- Falla Subandina, entre Cuyuja y Baeza se encuentra afectando los terrenos de la Unidad Upano
- Falla Cosanga, 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) tienen buzamiento hacia el oeste y constituyen planos de cabalgamiento o sobre corrimiento de oeste a este, procesos de los que han quedado remanentes o relictos conocidos como napes. En los trabajos de fotointerpretación realizados para la zona de estudio, se han determinado únicamente segmentos de falla que posiblemente pertenecen o son parte de las fallas regionales antes señaladas. Si bien en las fotografías aéreas, por su escala, es muy difícil o imposible distinguir la litología de los terrenos metamórficos para poder separarlos, estos segmentos de falla pueden constituir dichos contactos, los mismos que deberán ser identificados en el campo mediante un trabajo detallado de verificación.

Es necesario considerar, por la importancia y magnitud del Proyecto, los posibles peligros a los que podría estar sometida la implantación de las obras tanto de captación como conducción y casa de máquinas. Los fenómenos geológicos más comunes a los que debería enfrentarse la planificación y el diseño tienen relación directa con factores como relieve de la zona en la que se implantarán las obras, litología de los materiales presentes, peligro por erupciones volcánicas, peligro por actividad sísmica y peligro por deslizamientos o movimiento de masas. En el área de estudio, si bien al parecer no existe un real peligro asociado con los factores nombrados, es conveniente describirlos y tomarlos en cuenta a manera de previsión, pues, nunca se tiene garantizada la certeza de que no vayan a producirse.

Cuadro 1: Peligrosidad debida a fenómenos Geológicos

Sector	Relieve	Litología	Peligro volcánico	Peligro sísmico	Peligro Geodinámico
Trazado de los Túneles: Carga Papallacta, Carga Quijos y Túnel Principal	Amplia superficie de terraza, plana con ligeros declives hacia el oriente	Roca volcánica del tipo andesita basáltica, cubierta por una capa de suelos, procedentes de la erosión de los materiales metamórficos del lado occidental y de la caída de cenizas.	Bajo, por caída de piroclastos y cenizas, generalmente los vientos predominantes en sentido este – oeste.	Bajo, por la constitución de los materiales volcánicos y su disposición horizontal	Al pie del escarpe entre las montañas del lado occidental y el manto de lava cruza una falla en sentido norte – sur, ocasionando zonas coluvionadas

<p>Unión de ríos Papallacta y Quijos</p>	<p>A partir de la terraza plana con lavas en la base, la morfología hacia el oriente está caracterizada por fuertes pendientes y agudos escarpes</p>	<p>En ambos márgenes del río principal afloran nuevamente rocas metamórficas posiblemente de la Unidad Cuyuja, esquistos y gneis pelíticos</p>	<p>Medio, podría ocurrir que lleguen hasta allí los flujos laháríticos en caso de una erupción del Antisana</p>	<p>En este lugar se nota la presencia de lineamientos que podrían considerarse como segmentos de las fallas regionales, esto causaría la posibilidad de que se manifieste un cierto peligro de origen sísmico</p>	<p>Las rocas metamórficas, según se ha podido observar en fotografías del sector, son propensos a producir deslizamientos y prueba de ello es la abundancia de depósitos coluviales y de laderas coluvionadas en el entorno</p>
<p>Trazado del Túnel de Carga, en su parte oriental</p>	<p>A lo largo de esta zona se aprecia una morfología abrupta, fuertes pendientes y quebradas profundas</p>	<p>Terrenos posiblemente pertenecientes a la Unidad Upano consistentes de esquistos verdes y meta andesitas</p>	<p>Muy bajo, considerando que el trazado va por la margen izquierda del Río Papallacta y una cierta distancia del cauce.</p>	<p>Condiciones similares a las descritas para el punto anterior.</p>	<p>En la parte oriental de este tramo, se nota la presencia de unos pocos deslizamientos algo recientes, laderas coluvionadas y depósitos de pie de ladera</p>
<p>Sector donde se instalará la Chimenea de equilibrio, la tubería de Presión y la Casa de Maquinas</p>	<p>Morfología algo atenuada por la presencia de materiales coluvionados desprendidos de las partes altas de las laderas adyacentes. La casa de Maquinas se asentaría su menor parte sobre</p>	<p>Rocas Metamórficas de la Unidad Upano, cercanas al contacto con materiales semimetamórficas del grupo Margajitas consistentes en areniscas y lutitas rojas, calizas y lutitas negras.</p>	<p>Muy bajo a ninguno igualmente que en los sitios inmediatamente anteriores, se considera que no existe un real peligro por algún tipo de actividad volcánica.</p>	<p>Estos lugares, como casi toda la zona, se pueden considerar como de bajo peligro por actividad sísmica, deben citarse en todo caso la presencia de un lineamiento (falla) en</p>	<p>En los sectores aledaños al sitio donde se ubicaría la casa de Maquinas, se observa la presencia de coluviales desprendidos de las laderas norte del río.</p>

	materiales de terrazza			sentido norte – sur.	
--	---------------------------	--	--	-------------------------	--

Fuente: Informe técnico Geológico sobre amenazas potenciales del Proyecto Hidroeléctrico Quijos (2000).

2.2. Geomorfología.

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

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

Destacándose zonas con una geomorfología de relieves de cumbres, picos y la de zonas de recepción donde pueden observarse diferentes niveles de terrazas (1-3), aluviales, coluviales, deltas y abanicos (escala no permite representarlos en el mapa). Los sectores recorridos se caracterizan por ser áreas muy inestables observándose desprendimientos de bloques, deslizamientos y reptación, fluencia de arcillas (material fino), detritus y arrastres torrenciales (fango, lodo, etc.). Además, los desniveles (“escalones”) se dan en distancias cortas.

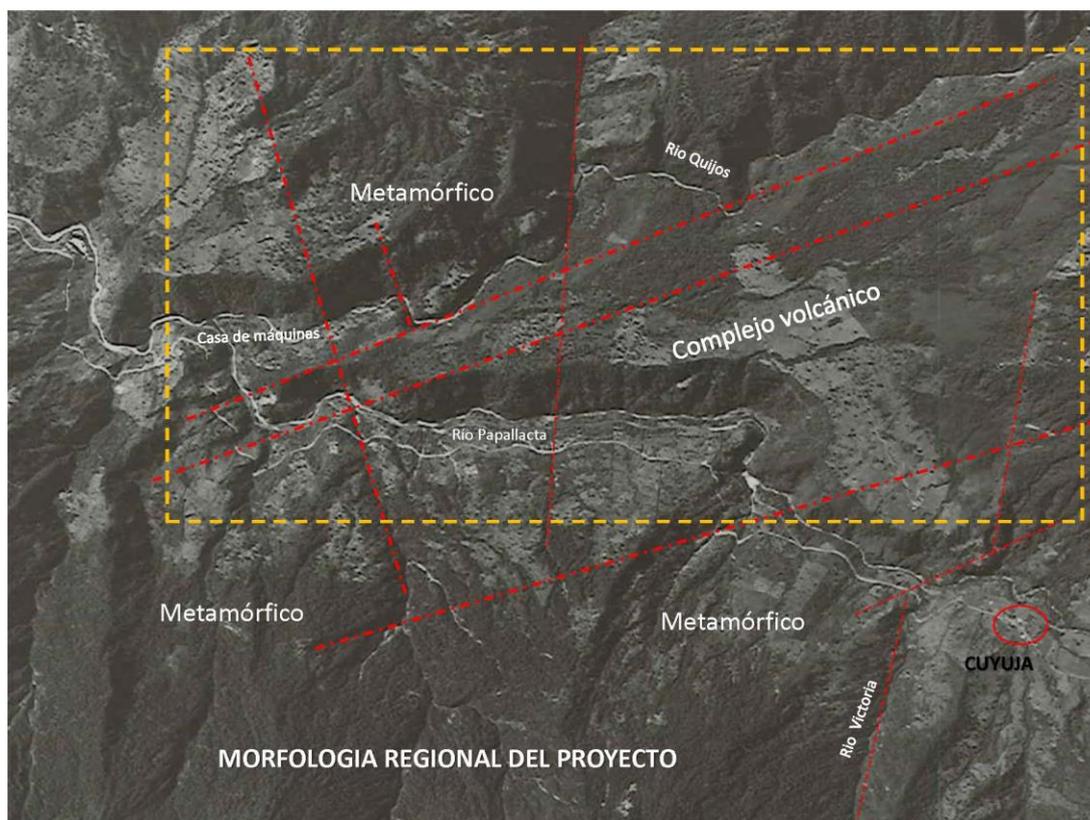
La amplia y extensa terraza de Huila-La Esperanza (18833183E; 19952104N, ±2600 m.s.n.m.) cuyo eje mayor tiene una dirección oeste-este, donde se implantarán las obras de conducción (túneles de carga, principal, chimenea de equilibrio, etc.) es una zona con pendientes de suaves a semiplanas, nivel freático menor a 15 m, zonas de encharcamientos temporales y humedales Pero, existe un desnivel fuerte en la zona hacia la casa de máquinas Quijos con pendientes mayores a 45° (zonas coluvionadas), donde es fácil observar en las “laderas” la protección del talud a través de obras de protección (mallas).

En este tramo se presentan un conjunto de flujos de lava en forma de bloques “aislados” de diferente tamaño que son susceptibles de “rodar” cuesta abajo.

En cuanto a lo primero, debemos considerar que fundamentalmente en la zona existen dos grandes tipos de materiales los mismos que se encuentran representados por terrenos volcánicos y terrenos metamórficos, luego también se deben tomar en cuenta materiales fruto de la acción glacial, meteorización, erosión y posterior depósito de los mismos preferentemente en valles y planos menos inclinados, finalmente los materiales pulverizados provenientes de las erupciones volcánicas como piroclastos y cenizas que se encuentran cubriendo los materiales.

En lo que tiene relación con la variabilidad climática, es bien conocido que la zona en estudio, se encuentra sometida al influjo de fuertes y permanentes precipitaciones fluviales durante gran parte del año, ello favorece dos tipos de acciones, la una destructiva, en el sentido de que la actividad denudativa adquiere un gran poder al desprender los materiales de cobertura o los mismos suelos meteorizados y arrastrarlos pendiente abajo hasta los valles. La otra acción en cambio favorece el crecimiento y desarrollo de especies vegetales que cumplen con un papel protector de los terrenos.

Gráfico 4: Morfología regional del Proyecto



Fuente: Estudio de Prefactibilidad del Proyecto Hidroeléctrico Quijos. (2000).

En el área que nos ocupa, es posible distinguir dos grandes unidades geomorfológicas principales y dos unidades secundarias o menores, estas cuatro unidades son:

- ✓ Terrenos alto volcánicos,
- ✓ Terrenos metamórficos
- ✓ Laderas coluvionadas,
- ✓ Terrazas y depósitos coluviales y aluviales

a. Terrenos Alto Volcánicos

Se encuentran cubriendo en gran parte a terrenos y rocas metamórficas. Esta primera unidad caracteriza la conformación de paisajes dominados por 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,

es común además observar el modelaje ocasionado por la acción y el paso de los hielos cuyos resultados han quedado plasmados en la presencia de aristas, paredes muy inclinadas pulimentadas, circos glaciares, valles colgados y valles en “U”; en esta unidad predomina un patrón de drenaje subdendríptico de baja a media densidad, las rocas de esta unidad están por lo general cubiertas por piroclastos y cenizas que atenúan las formas angulosas y los relieves abruptos.

b. Terrenos Metamórficos

Los materiales característicos de esta unidad 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”, domina un paisaje de cuevas con marcados desniveles, en estos terrenos es común observar la presencia de deslizamientos, a manera de cicatrices, de diversa magnitud ocasionados por el debilitamiento de las rocas sometidas a la acción del agua que aprovecha los planos de esquistosidad para introducirse y facilitar los procesos erosivos y destructivos de estas estructuras rocosas. En ciertos lugares de las partes superiores de esta unidad también se observa la presencia de una modelación glacial, aunque en menor escala que en la anterior.

c. 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, quedando en muchos casos suspendidos en estos planos inclinados, generalmente son utilizados para cultivos y pastoreo, en esta unidad predominan formas redondeadas con ausencia de aristas y con pendientes medias, el drenaje es subparalelo de baja densidad.

d. Terrazas, 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 semihorizontales, son materiales de diversa

composición y tamaño, en ciertos casos se encuentran cubiertos por cenizas y suelos vegetarizados; predominan patrones de drenaje meándricos y anastomosados de baja densidad. Por la escala de las fotos no ha sido posible mapear conos de deyección, los cuales si existen pero muy pequeños.

2.3. Hidrología.

“El proyecto hidroeléctrico Quijos” está localizado en el cantón Quijos de la provincia de Napo y aprovecha el potencial hidroenergético de los ríos Victoria, Papallacta y Quijos con tomas ubicadas antes de su confluencia, la captación del río Victoria es dirigida hacia el río Papallacta donde se realiza la toma de este río, la toma del río Quijos está a la altura de la parroquia de Cuyuja. Ambas tomas derivan el recurso hasta la casa de máquinas ubicada en las inmediaciones de la confluencia del río Quijos con el Papallacta.

El tramo del Central Quijos está comprendido desde la confluencia del río Quijos - Papallacta y la confluencia Quijos - Huagrayacu en las proximidades de la población de Baeza.

Por tanto el sistema hidrológico al que pertenecen el proyecto hidroeléctrico Quijos–Baeza, puede ser determinado de la siguiente manera: cuenca del Río Quijos; subcuenca del río Papallacta, subcuenca del río Quijos y microcuenca del río Victoria.).

2.4. Geología de la Ventana N° 2.

La zona del portal del túnel ventana N° 2, se localiza en un frontón vertical formado de lavas volcánicas tipo andesitas basálticas con niveles bien definidos, cada uno formado por eventos volcánicos de diferente edad pero probablemente de la misma fuente. Se han diferenciado 7 niveles mayores de diferentes materiales volcánicos intercalando basaltos columnares, depósitos de escoria volcánica y lavas andesitas

basálticas masivas con fracturas cóncavas, generalmente separadas con horizontes finos de suelos no tan característicos.

Estos materiales cubren a su vez a un potente depósito de materiales transportados que consisten en fragmentos, bloques, cantos rodados, gravas arenas arcillas y materia orgánica depositados en varios eventos tipo lahar, fluvio glacial o fluvio lacustre. **Foto 1.** Estos materiales son medianamente consolidados y en ocasiones altamente consolidados y por localización y cota, prácticamente ha sido el estrato utilizado en la construcción de la ventana N° 2.

En la **Foto 2** se observa una vista panorámica del frontón en donde se construyó el portal de la ventana N° 2. En él se distinguen una serie de materiales volcánicos de diferente estructura, cambio de textura y espesor. Corresponden a depósitos volcánicos producto de diferentes eventos de los cuales se distinguen basaltos columnares, Depósitos de nubes ardientes, escorias volcánicas, rocas masivas con fracturas cóncavas y convexas y lentes finos de paleosuelos que verifican que el gran depósito obedece a acumulaciones de materiales volcánicos en diferente época pero al parecer de la misma fuente.



Foto 1.- Depósitos volcánicos correspondientes a varios eventos eruptivos del Antisana en el portal de la Ventana N° 2. Estos materiales cubren a su vez a un potente depósito de materiales transportados que

consisten en fragmentos, bloques, cantos rodados, gravas, arenas, arcillas, y materia orgánica depositados en varios eventos tipo lahar, fluvio glaciar o fluvio lacustre.



Foto 2.- Vista del portal de ingreso de la ventana N°2. Los materiales acarreados por el río Quijos yacen bajo los materiales volcánicos. Estos materiales son medianamente consolidados y en ocasiones altamente consolidados, los mismos que por localización y cota, prácticamente ha sido el estrato atravesado por la construcción de la ventana N° 2.

Este depósito que se ubica por debajo del complejo volcánico coincide con la solera del túnel de la ventana 2. En varias ocasiones éstos materiales se encuentran altamente consolidados, pero en otros lugares los materiales tienen una pseudoestratificación con niveles de arenas bien seleccionadas y de granulometría fina; probablemente se trate de depósitos de crecidas o de avalanchas en épocas de crecidas excepcionales. Los niveles más homogéneos pueden estar relacionados a depósitos en ambientes fluvio lacustres o fluvio glaciares.

Ver Anexo B: proceso de destape para llegar a solera del túnel ventana N° 2.

Para poder definir el sitio más idóneo para la construcción de la ventana N° 2 del Proyecto Hidroeléctrico Quijos, se realizó un sondeo denominado **SCHE – 1**, realizada por la empresa **HidroSuelos Cía. Ltda.** Con una profundidad de 280 metros que

coincide con la solera del túnel ventana N° 2 ubicada en el eje del túnel principal en las coordenadas 837000.14; 9952492.15 con cota 2328.94, la función de la ventana N° 2 es adelantar los trabajos de excavación del túnel principal y la Chimenea de Equilibrio propia del diseño del **Proyecto Hidroeléctrico Quijos**. Ver Anexo C.- Registro Geotécnico del sondeo SCHE -1

SONDEO SCHE -1



Fuente: HidroSuelos sondeo SCHE - 1



Foto 3.-Realizando el registro litológico del sondeo SCHE – 1 con el **Dr. Nick Barton** (Asesor Internacional), **Ing. Julio Carcelén** (Jefe de Fiscalización ASTEC) y Egresado **Cristian Cardoso** (Tesista).

III. MATERIALES Y METODOS.

3.1. Materiales y equipos.

a) Materiales de oficina

Libreta de campo, Lápiz, Esferos, Marcadores, Borradores, Cd, Hojas de papel bond, Copias, Impresoras, Computador portátil, Cámara digital, Pen drive de 8GB y Mapas topográficos y geológicos.

b) Materiales de campo

Brújula de Geólogo, GPS, Estación Total Martillo de Geólogo, Flexo metro (5m), Escalímetro, Lupa 10X, Lupa 20X, Lápiz Magneto, Lápiz Rayador, Recipientes para muestreo.

c) Equipo de protección Personal (EPP)

Casco, Gafas, Tapones auditivos, Mascarilla, chaleco refractivo, Guantes, Botas de punta de acero, Linterna de casco, Linterna de mano, ropa de agua

3.2. Metodología.

La etapa inicial del estudio, corresponde a la revisión de bibliografía sobre la geología y características litológicas, se realizarán actividades de observación y análisis de núcleos de perforación almacenados que corresponde a los estudios preliminares realizados en la zona, para comprobar la litología.

Además se va realizar un muestreo y análisis de laboratorio de los siguientes parámetros: Humedad, Permeabilidad, Granulometría, Esponjamiento, Cohesión, Capacidad de carga, Limite plástico y limite liquido; con los datos obtenidos efectuaremos la clasificación Geomecánica según los siguientes autores:

- Terzaghi (1925 - 1946);
- BIENIAWSKI. Rock Mass Rating (RMR);
- Barton (Sistema Q).

Con los datos obtenidos clasificados realizaremos los cálculos para determinar el sostenimiento efectivo. Con todos los datos obtenidos elaboraremos el informe final.

IV. INVESTIGACIÓN DE LOS PARAMETROS QUE CONTROLAN LA GEOMECANICA DEL TUNEL VENTANA 2.

4.1. Caracterización de La Humedad.

El **contenido de humedad** en los suelos se define como la cantidad de agua que el material contiene en el momento de ser extraído.

Para conocer el contenido de humedad es pesar la muestra cuando se acaba de extraer, m_1 , y después de haberla mantenido durante 24 horas en un horno a una temperatura de 110 °C a 120 °C se vuelve a pesar, m_2 , y se halla el porcentaje de humedad con:

$$\text{Porcentaje de Humedad} = \frac{m_1 - m_2}{m_2} \times 100$$

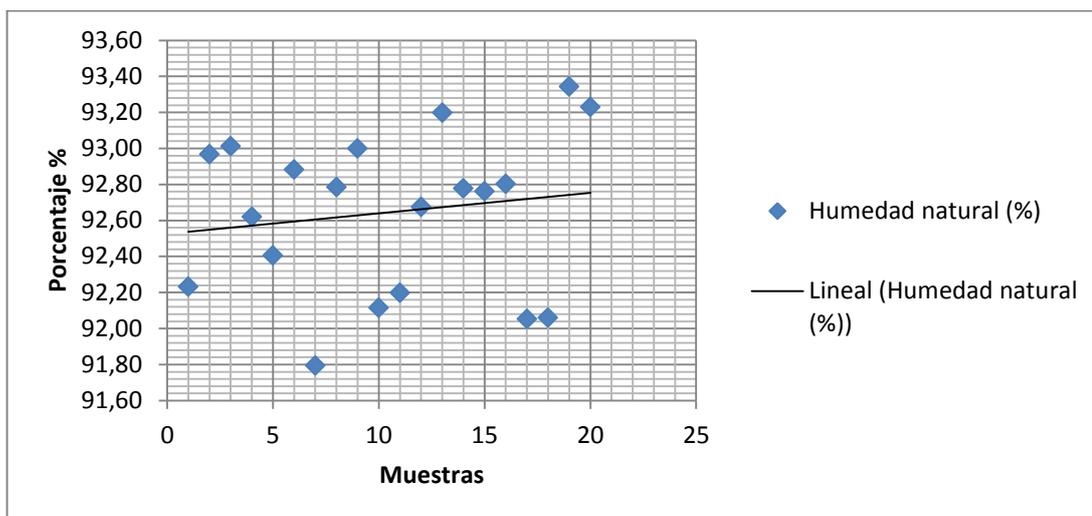
m_1 = Masa de la muestra recién extraída.

m_2 = Masa de la muestra después de estar en el horno.

Dentro del material aluvial encontrado en el sitio designado para la construcción de la ventana 2, se tiene zonas donde se aprecia goteo puntual, para evitar conflictos en la determinación y toma de muestras, se decidió tomar 45 muestras. Para mayor entendimiento se ha dispuesto que se tomen 20 muestras de la parte baja del túnel y 25 muestras de la bóveda o clave.

De los 20 análisis realizados en la zapata o parte baja del frontón del túnel se obtiene un porcentaje promedio de humedad de 92.65%.

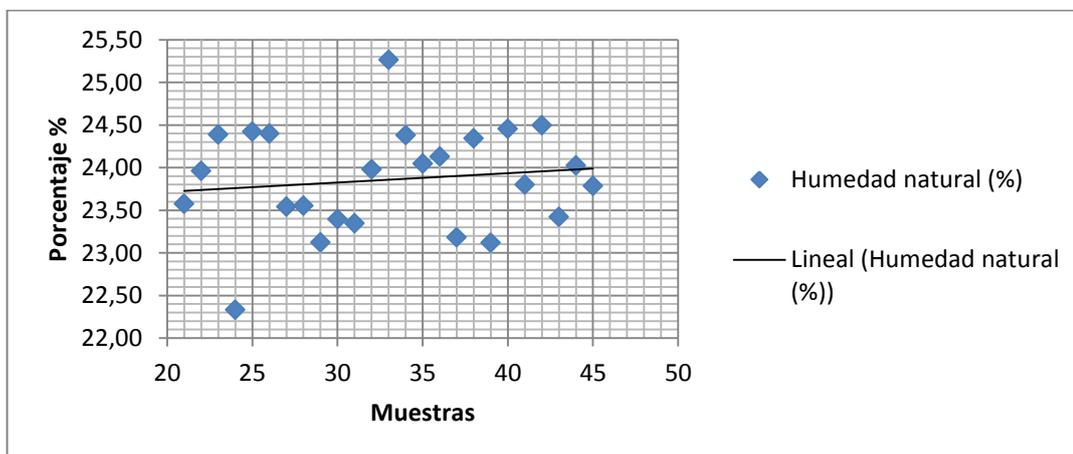
Grafico 5: Porcentaje de humedad en bóveda.



Fuente: Ensayos de laboratorio. Proyecto Quijos. (2012)

De la parte de la corona, bóveda o clave se obtuvo un porcentaje de 23.86% de humedad, estas están debidamente justificadas con 25 muestras aleatorias.

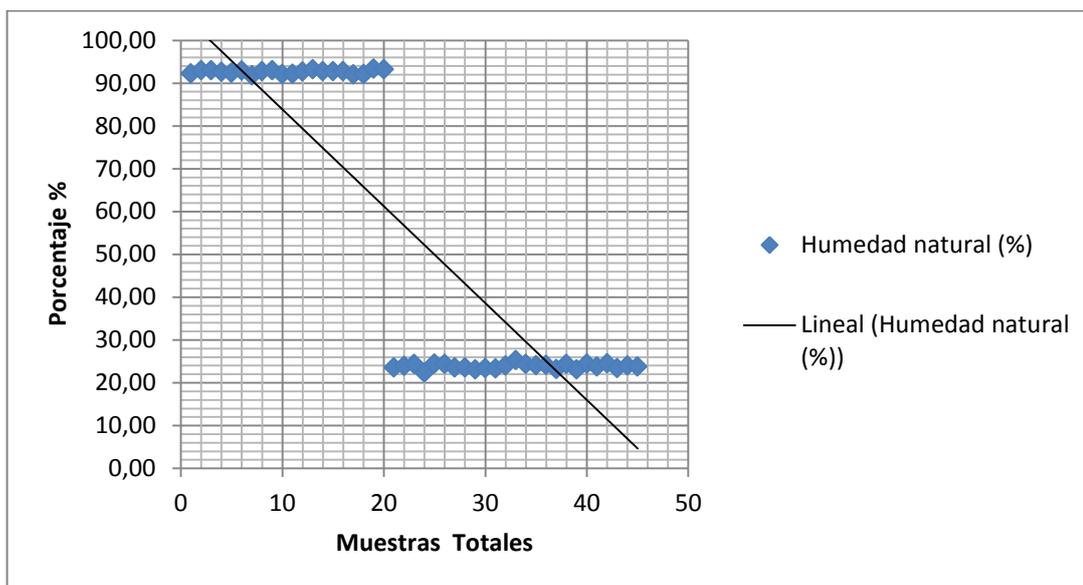
Grafico 6: Porcentaje de humedad parte baja frontón



Fuente: Ensayos de laboratorio. Proyecto Quijos. (2012)

Realizando un promedio de los análisis de la humedad natural del frontón se tiene que todo el frontón o portal de ingreso del Túnel Ventana 2 posee una **humedad de: 54.43%.**

Grafico 7: Promedio general de la humedad en todo el frontón.



Fuente: Ensayos de laboratorio. Proyecto Quijos. (2012).

4.2. Caracterización de la permeabilidad

Es la capacidad de transmitir agua de una roca. La mayoría de las rocas presentan permeabilidades bajas o muy bajas. La filtración y el flujo del agua a través de la matriz rocosa se produce a favor de los poros y fisuras, dependiendo la permeabilidad de la interconexión entre ellos y de otros factores como el grado de meteorización, la anisotropía o el estado de esfuerzos a que está sometido el material.

La permeabilidad de una roca se mide por el coeficiente de permeabilidad o de conductividad hidráulica, k , que se expresa en m/s, cm/s o m/día:

$$k = K \left(\frac{\gamma_w}{\mu} \right)$$

Donde K es la permeabilidad intrínseca (dependiente únicamente de las características del medio físico), γ_w es el peso específico del agua y μ es la viscosidad del agua. La permeabilidad depende del tamaño de grano, el valor d_{10} condiciona el valor de la permeabilidad, el cual se obtiene de la curva granulométrica de la muestra, es

decir, el tamaño de abertura de tamiz que permite el paso del 10% en peso de la muestra del material granular.

Cuadro 2: Valores típicos de Permeabilidad en roca

Valores típicos de permeabilidad de la matriz rocosa	
Roca	k (m/s)
Arenisca	$10^{-5} - 10^{-10}$
Caliza y Dolomía	$10^{-6} - 10^{-12}$
Esquisto	$10^{-7} - 10^{-8}$
Pizarra	$10^{-11} - 10^{-13}$
Granito	$10^{-9} - 10^{-12}$
Lutitas	$10^{-9} - 10^{-13}$
Rocas metamórficas	$10^{-9} - 10^{-12}$
Rocas volcánicas	$10^{-7} - 10^{-12}$
Sal	$<10^{-11} - 10^{-13}$

Fuente: Gonzales de Vallejo, L., Ferrer., Mercedes, Ortuño, L., & Oteo, C. (2004) *Ingeniería Geológica*. Madrid

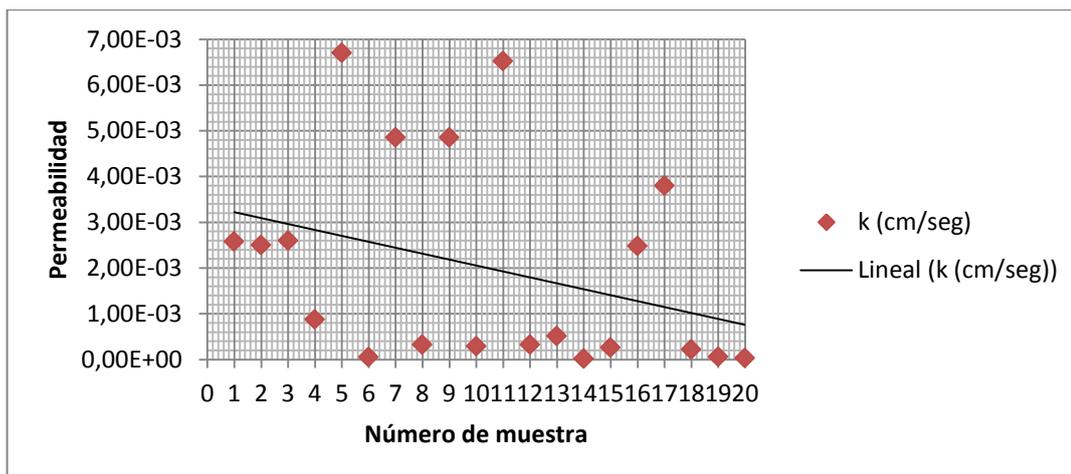
En lo que se refiere a suelos se tiene un cuadro en donde incluyen valore típicos para suelos o rocas pulverulentas.

Cuadro 3: Valores típicos de Permeabilidad en suelo

Rango de valores del coeficiente de permeabilidad en suelos	
Tipo de suelo	k (cm/s)
Grava mal graduada (GP)	≥ 1
Grava uniforme (GP)	0.2 – 1
Grava bien graduada (GW)	0,05 – 0,3
Arena uniforme (SP)	0,005 – 0,2
Arena bien graduada (SW)	0,001 – 0,1
Arena limosa (SM)	0,001 – 0,005
Arena arcillosa (SC)	0,0001 – 0,001
Limo de baja plasticidad (ML)	0,00005 – 0,0001
Arcillas de baja plasticidad (CL)	0,00001 – 0,00000001

Fuente: Gonzales de Vallejo, L., Ferrer., Mercedes, Ortuño, L.,& Oteo, C. (2004) *Ingeniería Geológica*. Madrid

Para la ventana 2 se realizó 20 ensayos de permeabilidad en diferentes puntos incluyendo el sondeo geotécnico denominado SCHE – 1, de donde se obtienen los siguientes resultados de permeabilidad:

Gráfico 8: Grafica de permeabilidad de la ventana 2

Fuente: Ensayos de laboratorio. Proyecto Quijos. (2012).

De la figura se obtiene un valor promedio de $k = 1.99^{-3} \text{ cm/s}$, en un rango de certeza de 3.20^{-4} a 1.50^{-3} cm/s . Considerado como rango de permeabilidad efectiva¹⁰

4.3. Caracterización de la granulometría.

La granulometría es la distribución de los tamaños de las partículas de un agregado tal como se determina por análisis de los tamices NTE - INEN 696 (ASTM C 136) por vía seca.

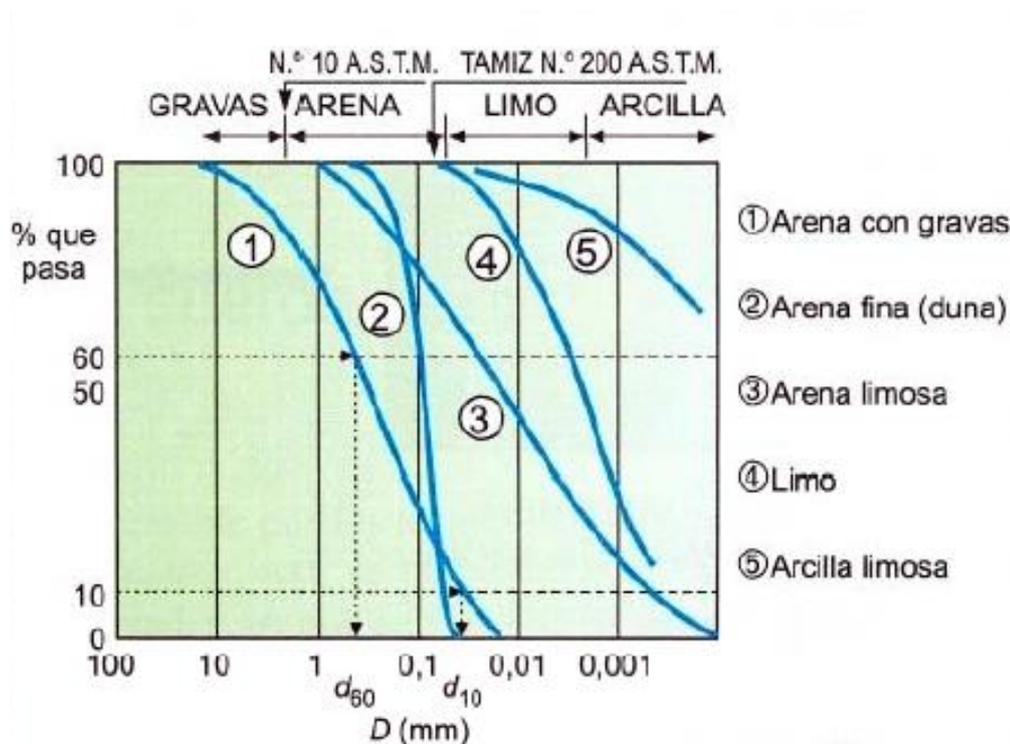
El procedimiento es que a la muestra, se lo hace pasar por un conjunto de tamices (cuyos tamaños disminuyen en progresión geométrica de razón de 2) agitando el conjunto. Después se pesa lo retenido en cada tamiz, con lo que, conocido como peso inicial de la muestra, se determina el porcentaje de material C_j , que pasa por un tamiz de diámetro D_j

$$C_j = \frac{P_i}{P} \times 100$$

Siendo P el peso seco total de la muestra y P_i el peso retenido por el tamiz de diámetro D . Con dichos datos se puede elaborar la curva granulométrica de un suelo, que relaciona C_j con “ $\lg D_j$ ”. En el Gráfico 9 se ha representado diversas curvas que corresponden a:

- a) La 1 es arena con gravas
- b) La 2 una arena fina (tipo arena de duna)
- c) La 3 arena limosa
- d) La 4 un limo
- e) La 5 una arena limosa.

¹⁰ Custodio y Llamas (1996) Hidrología Subterránea. Ed Omega. Barcelona

Grafico 9: Granulometría de partículas.

Fuente: Gonzales de Vallejo, L., Ferrer., Mercedes, Ortuño, L., & Oteo, C. (2004) *Ingeniería Geológica*. Madrid . Código: 28042.

Para una mejor definición de la granulometría de un suelo se utilizan dos coeficientes:

El coeficiente de uniformidad C_u , que es la relación entre el diámetro correspondiente al tamiz por el que pasa u 60 % del material y de diámetro correspondiente al tamiz por el que pasa el 10%.

Si C_u es menor de 5 el suelo tiene una granulometría uniforme; si C_u varía entre 5 y 20 es poco uniforme, y si $C_u > 20$ es un suelo bien graduado. Cuanto más uniforme es la granulometría de un suelo, más uniforme es el tamaño de sus huecos, menor densidad alcanzara, más fácilmente será erosionado.

El coeficiente por el contenido de finos, llamando así, el porcentaje de suelo que pasa por el tamiz N° 200 de la serie A.S.T.M (0,075 mm). Este porcentaje indica la proporción de arcilla y limo que contiene el suelo, y está relacionado con la posibilidad

de retención de agua. Cuanto mayor sea el contenido de finos, mayor será la dificultad de expulsión de agua bajo esfuerzos¹¹.

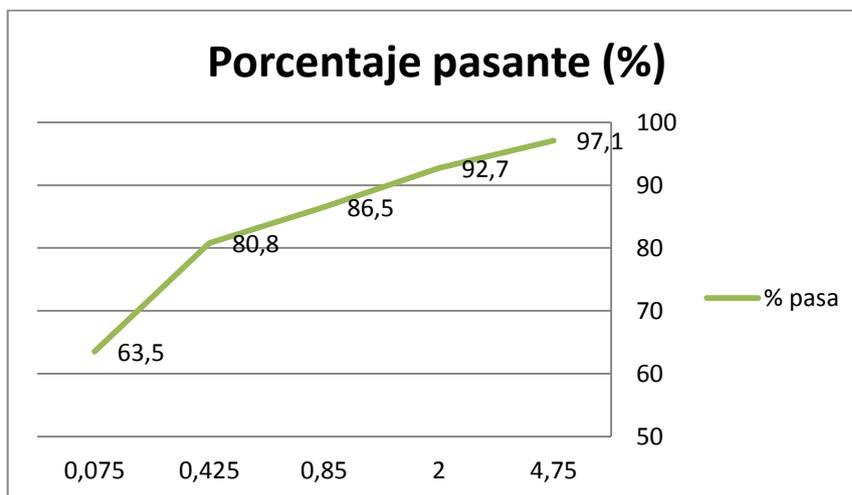
Para la ventana 2 se realizó 24 pruebas de granulometrías **VER ANEXO D** (Registro de pruebas de laboratorio).

Cuadro 4: Granulometría de la muestra 10. Ventana 2 PHQ

GRANULOMETRIA					
NORMA: ASTM D 421 - ASTM D 422				PESO INICIAL: 150,0	
TAMIZ No.	ABERTURA TAMIZ (mm)	PESO RETENIDO (gr)	PORCENTAJE RETENIDO (%)	PORCENTAJE ACUMULADO (%)	PORCENTAJE PASANTE (%)
4	4,75	3,63	2,9	2,9	97,1
10	2,00	5,49	4,4	7,3	92,7
20	0,850	7,75	6,2	13,5	86,5
40	0,425	7,21	5,8	19,2	80,8
200	0,075	21,60	17,3	36,5	63,5
PASA 200		79,47	63,5	100,0	0,0
TOTAL		125,15			

Fuente: Ensayos de laboratorio. Proyecto Quijos. (2012)

Grafico 10: Curva granulométrica Muestra 10. Ventana 2 PHQ



Fuente: Ensayos de laboratorio. Proyecto Quijos. (2012)

¹¹ Gonzales de Vallejo. L, Ferrer M, Ortuño. L, & Oteo C. (2004) *Ingeniería Geológica*.

4.4. Caracterización del esponjamiento.

Prácticamente todos los materiales, al ser excavados, sufren un cierto aumento de su volumen. Este incremento de volumen, expresado en porcentaje del volumen *in situ*, se llama *esponjamiento*. Si el material se emplea como relleno puede, en general, recuperar su volumen e incluso puede reducirse (volumen compactado). Para la cubicación del material de la excavación, se considera su volumen antes de ser excavado (en banco); en ningún caso debe ser tenido en cuenta el volumen transportado de las tierras, que es mayor debido precisamente al esponjamiento referido.

El esponjamiento de la arena “Según la revista Tecnológica, Investigación y Docencia de Bolivia viene dado por¹²:

$$\%E = \frac{V_i - V_f}{V_f} \times 100$$

Dónde:

%E = Esponjamiento de la arena obtenida en porcentaje %

V_I = Volumen inicial de la muestra

V_f = Volumen final de la muestra obtenida después del ensayo

Cabe recalcar que también se puede sustituir por densidades. Según un estudio de la UCE se obtienen la siguiente tabla de esponjamiento:

¹² http://www.revistasbolivianas.org.bo/scielo.php?pid=S2012-22222011000200006&script=sci_arttext

Cuadro 5: Densidades del material en banco y suelto, para los casos más frecuentes del movimiento de tierras

MATERIAL		d_t (t/m ³)	d_B (t/m ³)	S_w (%)	F_w
Tierra	Seca	1,51	1,90	25	0,80
	Húmeda	1,60	2,02	26	0,79
	Barro	1,25	1,54	23	0,81
Granito Fragmentado		1,66	2,73	64	0,61
Grava	Natural	1,93	2,17	13	0,89
	Seca	1,51	1,69	13	0,89
	Mojada	2,02	2,26	13	0,89
Arena y Arcilla		1,60	2,02	26	0,79
Yeso Fragmentado		1,81	3,17	75	0,57
Arenisca		1,51	2,52	67	0,60
Arena	Seca	1,42	1,60	13	0,89
	Húmeda	1,69	1,90	13	0,89
	Empapada	1,84	2,08	13	0,89
Tierra y Grava	Seca	1,72	1,93	13	0,89
	Húmeda	2,02	2,23	10	0,91
Tierra Vegetal		0,95	1,37	44	0,69
Basaltos ó Diabasas Fragmentadas		1,75	2,61	49	0,67
Nieve	Seca	0,13	---	---	---
	Húmeda	0,52	---	---	---

Fuente: (https://www.academia.edu/9582084/FACTOR_DE_ESPONJAMIENTO)

Según ensayos realizados in situ y en laboratorio se establecido un rango de esponjamiento tico para el aluvial donde se construirá la Ventana 2 del Proyecto Hidroeléctrico Quijos dé %E =**17 a 24 % (Ver Anexo D)**

4.5. Caracterización de la cohesión

Es la atracción entre partículas, originada por las fuerzas moleculares y las películas de agua. Por lo tanto, la cohesión de un suelo variará si cambia su contenido de humedad. La cohesión se mide kg/cm². Los suelos arcillosos tienen cohesión alta de 0,25 kg/cm² a 1.5 kg/cm², o más. Los suelos limosos tienen muy poca, y en las arenas la cohesión es prácticamente nula.

Fricción interna ϕ

Es la resistencia al deslizamiento causado por la fricción que hay entre las superficies de contacto de las partículas y de su densidad. Como los suelos granulares tienen superficies de contacto mayores y sus partículas, especialmente si son angulares, presentan una buena trabazón, tendrán fricciones internas altas. En cambio, los suelos finos las tendrán bajas.

La fricción interna de un suelo, está definida por el ángulo cuya tangente es la relación entre la fuerza que resiste el deslizamiento, a lo largo de un plano, y la fuerza normal aplicada a dicho plano. Los valores de este ángulo llamada "ángulo de fricción interna" ϕ , varían de prácticamente 0° para arcillas plásticas, cuya consistencia este próxima a su límite líquido, hasta 45° o más, para gravas y arenas secas, compactas y de partículas angulares. Generalmente, el ángulo ϕ para arenas es alrededor de 30° .

Cuadro 6: Valores típicos de Cohesión y ángulos de fricción en roca

Roca	Cohesión c (kp/cm ²)	Ángulo de fricción básico ϕ_b (grados)
Andesita	280	45
Arenisca	80-350	30-50
Basalto	200-600	48-55
Caliza	50-400	35-50
Caliza margosa	10-60	30
Cuarcita	250-700	40-55
Diabasa	900-1.200	40-50
Diorita	150	50-55
Dolomía	220-600	25-35
Esquisto	250	25-30*
	20-150*	20-30*
Gabro	300	35
Gneiss	150-400	30-40
Granito	150-500	45-58
Grauvaca	60-100	45-50
Mármol	150-350	35-45
Lutita	30-350	40-60
		15-25*
Pizarra	100-500	40-55
	< 100*	15-30*
Toba	7	—
Yeso	—	30

(*) En superficies de laminación o esquistosidad.
 Datos seleccionados a partir de Walthan (1999), Rahn (1986), Goodman (1989), Farmer (1968), Jiménez Salas y Justo Alpañés (1975).

Según el **PhD Roberto Ucar** en su apartado “Una metodología para determinar la resistencia al corte en macizos rocoso”, sugiere y recomienda que para representar la cohesión (C) del suelo o macizo rocoso, se utilice siguiente ecuación:

$$C = \frac{\sigma_c}{2} \left(\frac{1 - \operatorname{sen} \phi}{\operatorname{cos} \phi} \right)$$

Donde;

C = Cohesión (Kg/cm²)

σ_c = Resistencia a la compresión Simple

ϕ = Angulo de fricción interna de la roca

Lo que se refiere a cohesión se lo ha realizado conjuntamente con otros ensayos como la capacidad de carga, Humedad y los límites de Attenberg dando rangos de cohesión que varían entre **320 – 150 KPa** respectivamente. (Ver Anexo D). Cabe destacar que un 1kPa equivale a 0,010197 kg/cm².

4.6. Capacidad de carga

El ensayo de capacidad de carga o carga puntual se la utiliza para determinar la resistencia a la compresión simple de fragmentos irregulares de roca, testigos cilíndricos de sondajes o bloques, a partir del Índice de resistencia a la carga Puntual (I_s), de tal forma que el stress aplicado se convierte a valores aproximados de UCS (Resistencia a la compresión uniaxial de roca), según el diámetro de la muestra. El procedimiento consiste en romper una muestra entre dos puntas cónicas metálicas accionadas por una prensa.

El índice de carga puntual sin corrección se calcula de la siguiente manera:

$$I_s = \frac{P}{De^2}$$

Dónde:

P = carga de falla, N

$De_2 = D^2$ para muestras diametrales, mm², o

$De_2 = 4A/\pi$ para muestras irregulares, axiales o bloques, mm².

Para la determinación de la capacidad de carga se lo ha realizado tanto en el sondeo SCHE -1 con las muestras obtenidas del frontón del portal de ingreso donde se obtuvieron los siguientes rangos de I_s . Ver cuadro 7.

Cuadro 7: Parámetros para determinar I_s . Laboratorio muestra 4, ventana 2

MUESTRA No.	DESCRIPCION	TIPO ENSAYO	DIAMETRO (mm)	ALTURA (mm)	DISTANCIA "D" (mm)	CARGA "P" (Kg)	I_s (Kg/cm ²)	I_{s50} (Kg/cm ²)
1	CAJA 32	DIAMETRAL	47,0	46,0	47,0	288,5	13,1	12,7

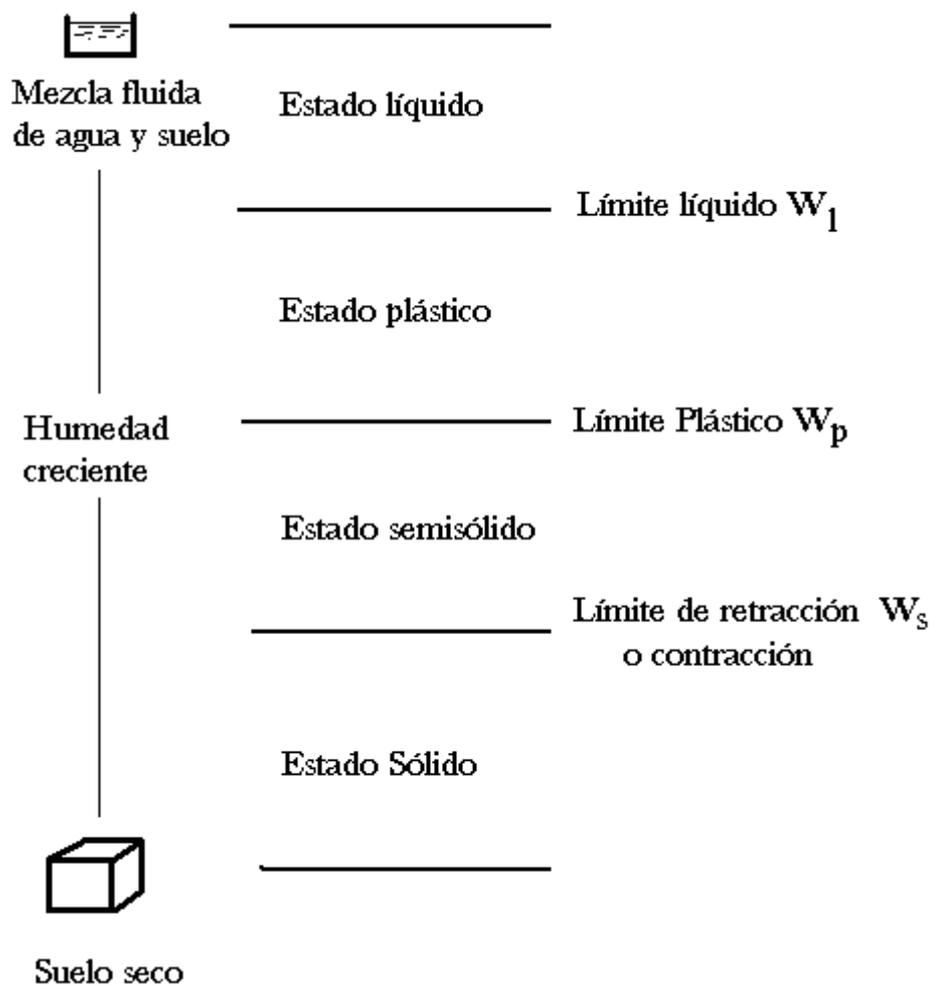
Fuente: Ensayos de laboratorio. Proyecto Quijos. (2012).

Como se muestra en el **Anexo D** se obtiene un rango que varía desde los **13,1 hasta 70.40 Kg/cm²** la capacidad de carga.

4.7. Limite plástico y limite liquido

El científico sueco **Alberth Mauritz Atterberg** definió tres límites: el límite de retracción o consistencia que separa el estado de solido a seco y el semisólido, el limite plástico W_p , que separa el estado semisólido del plástico y el limite liquido W_l , que separa el estado plástico del semilíquido; estos dos últimos limites se determinan con la fracción de suelo que pasa por el tamiz N° 40 A.S.T.M (0,1 mm).

Grafico 11: Proceso de determinación de Límites de Atterberg.



Fuente: http://es.wikipedia.org/wiki/L%C3%ADmites_de_Atterberg

El **límite plástico W_p** se determina amasando suelo seco con poco agua y formando elipsoides, arrollándolos con la palma de la mano sobre una superficie lisa, hasta llegar a un diámetro de unos 3mm y una longitud de 25 – 30 mm. Si, en ese momento, los elipsoides se cuarteán en fracciones de unos 6 mm, su humedad es la del límite plástico. Si no se cuarteán se vuelven a formar elipsoides para que pierdan humedad y lleguen a cuartearse.

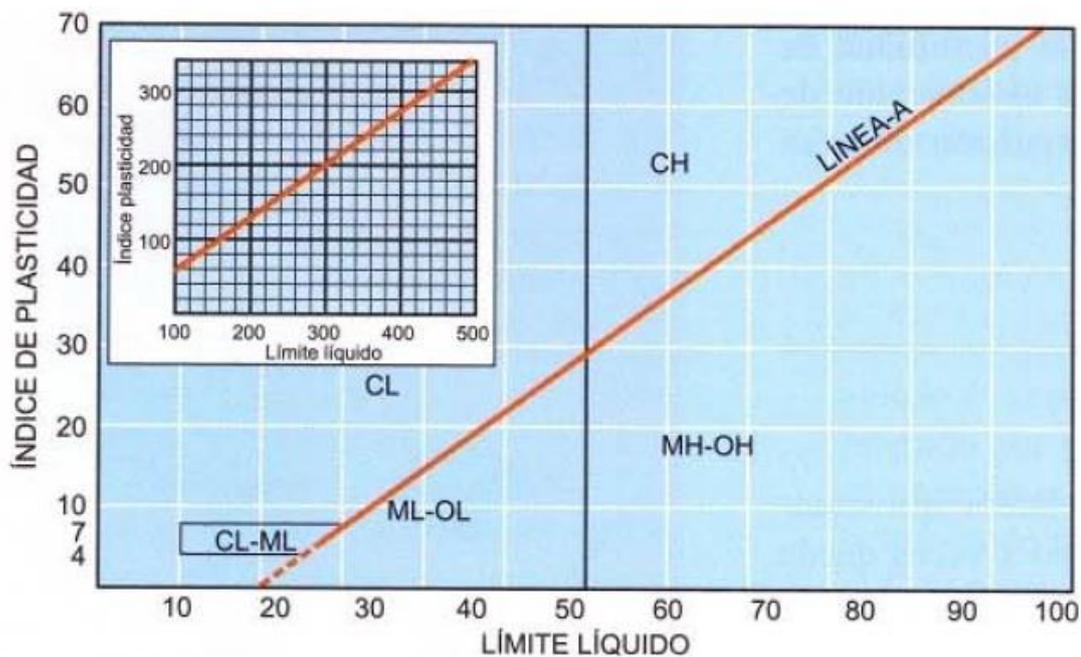
El **límite líquido W_l** se determina amasando bien el suelo seco (previamente disgregado con maza) con bastante agua y extendiendo la masa sobre un molde denominado Cuchara de Casagrande.

Se abre, en el centro de la masa extendida, un surco con un acanalador, formando un canal de unos 2 mm de ancho en su parte baja. El molde se coloca sobre una base y se somete a golpes controlados. El límite líquido es la humedad de la muestra cuando al dar 25 golpes se cierra el canal unos 12 mm. Como es difícil conseguir esa condición, se determina la humedad por interpolación, a partir de dos muestras en las que se debe conseguirse el cierre de 12 mm con más y menos golpes que 25.

Determinado W_l y W_p se puede obtener un punto representativo en cada muestra de suelo en la carta de plasticidad de casa grande (Gráfico 12), representando la relación del límite líquido, w_l , con el índice de plasticidad, I_p ($I_p = W_l - W_p$ representa el intervalo de humedades para pasar del estado semisólido al semilíquido). A partir de diversos estudios prácticos, Casagrande definió que los suelos con $W_l > 50$ son de <<alta plasticidad>>; por debajo de este valor se consideran de <<baja plasticidad>>. También se definió una línea <<A>> que resulta paralela a la dirección con que, en esa carta, se ordenan las muestras de un mismo terreno¹³.

¹³ Gonzales de Vallejo, L., Ferrer, M., Ortuño, L., & Oteo, C. (2004) *Ingeniería Geológica*. Madrid - España. Código: 28042. Pág. 23 - 24

Grafico 12: Carta de plasticidad de Casagrande



Fuente: Gonzales de Vallejo, L., Ferrer, M., Ortuño, L., & Oteo, C. (2004) *Ingeniería Geológica*

Relacionados con estos límites, se definen los siguientes índices:

- **Índice de plasticidad:** I_p ó $IP = w_l - w_p$
- **Índice de fluidez:** $I_f =$ Pendiente de la curva de fluidez
- **Índice de tenacidad:** $I_t = I_p/I_f$
- **Índice de liquidez (IL ó I_L),** también conocida como **Relación humedad-plasticidad (B):**

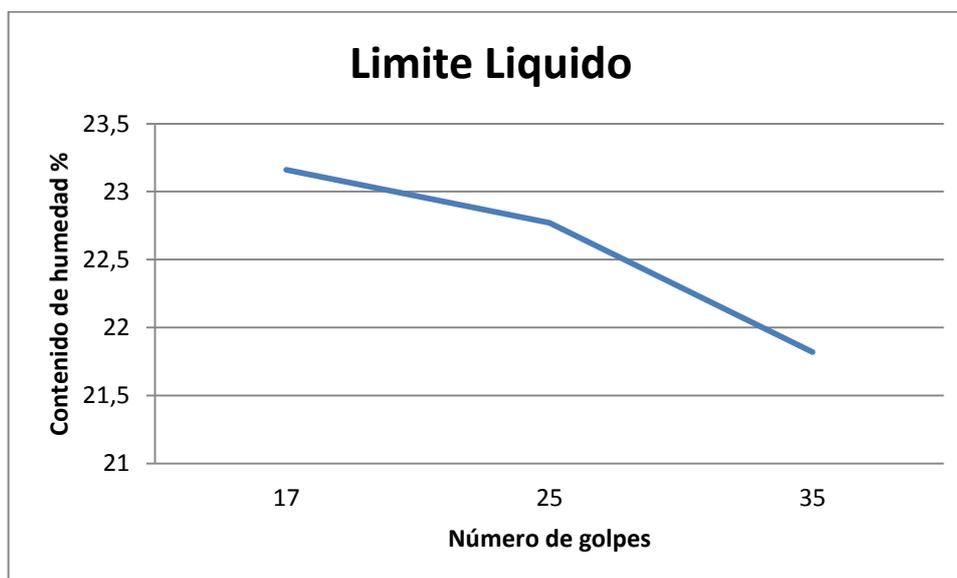
$$IL = (W_n - W_p) / (W_l - W_p) \quad (W_n = \text{headed natural})$$

Cuadro 8: Valores de límite plástico y límite líquido en laboratorio. Muestra 5, Ventana 2

LIMITE LIQUIDO					
NORMA: ASTM D 423 ASHTO T89 ASHTO T90					
CAPSULA No.	No. GOLPES	PESO HUMEDO (gr)	PESO SECO (gr)	PESO CAPSULA (gr)	% HUMEDAD
P	17	30,44	25,71	5,29	23,16
AH	25	33,15	28,01	5,44	22,77
BD	37	26,71	22,89	5,38	21,82
LIMITE PLASTICO					
NORMA: ASTM D 424 ASHTO T89 ASHTO T90					
PRUEBA No.	CAPSULA No.	PESO HUMEDO (gr)	PESO SECO (gr)	PESO CAPSULA (gr)	LIMITE PLASTICO (%)
1	BE	11,30	10,29	5,30	20,28
2	H	12,28	11,09	5,30	20,55

Fuente: Ensayos de laboratorio. Proyecto Quijos. (2012)

Grafico 13: Curva Limite liquido. Muestra 5, Ventana 2 PHQ



Fuente: Ensayos de laboratorio. Proyecto Quijos. (2012).

Con este grupo de ensayos en laboratorio se a determinado que según la carta de Casagrande se define al material como GW – GP; siendo GW Gravas bien graduadas, mezclas de grava y arena con pocos finos o sin ellos, GP gravas mal graduadas, mezclas de arena y grava con pocos finos o sin ellos. (Ver Anexo D).

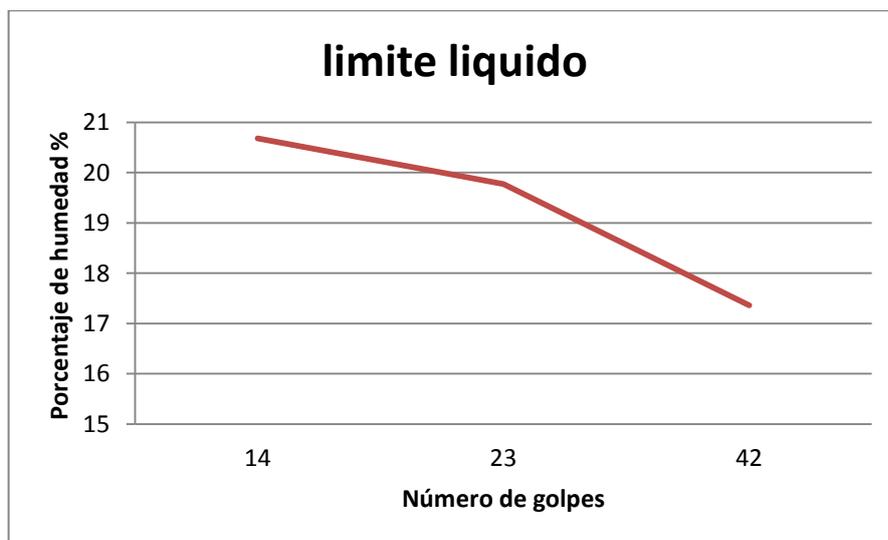
Cuadro 9: Valores de límite plástico y límite líquido en laboratorio. Muestra 8, Ventana 2

LIMITE LIQUIDO					
NORMA: ASTM D 423		ASHTO T89	ASHTO T90		
CAPSULA No.	No. GOLPES	PESO HUMEDO (gr)	PESO SECO (gr)	PESO CAPSULA (gr)	% HUMEDAD
P	14	30,49	26,90	9,54	20,68
AH	23	25,67	22,34	5,50	19,77
BD	42	22,46	19,90	5,15	17,36

LIMITE PLASTICO					
NORMA: ASTM D 424		ASHTO T89	ASHTO T90		
PRUEBA No.	CAPSULA No.	PESO HUMEDO (gr)	PESO SECO (gr)	PESO CAPSULA (gr)	LIMITE PLASTICO (%)
1	BE	9,80	9,20	5,11	14,67
2	H	10,10	9,51	5,37	14,25

Fuente: Ensayos de laboratorio. ASTEC. (2012).

Grafico 14: Curva Limite liquido. Muestra 8, Ventana 2 PHQ



Fuente: Ensayos de laboratorio del PHQ. (2012).

Con este grupo de ensayos en laboratorio a 80 metros al interior del tunel en medio fronton se a deteminado que según la carta de Casagrande se define al material como GP – GM ; GP gravas mal graduadas, mezclas de arena y grava con pocos finos o sin ellos. GM Gravas limosas, mexcladas mal graduadas de grava arena y limo (Ver Anexo D).

V. RELACIÓN DE LOS DIFERENTES PARÁMETROS GEOMECANICA PARA LA CLASIFICACION.

5.1. Clasificación de Terzaghi (1925 - 1946).

Terzaghi Karl, propuso el primer sistema racional de clasificación para calcular cargas que deben soportar los marcos de acero en los túneles. Se debe enfatizar que este método es apropiado para el cual fue diseñado, esto es para la estimación de las cargas para los marcos de acero, y por tanto no es adecuado para los métodos modernos de túneleo usando hormigón lanzado y pernos de anclaje.

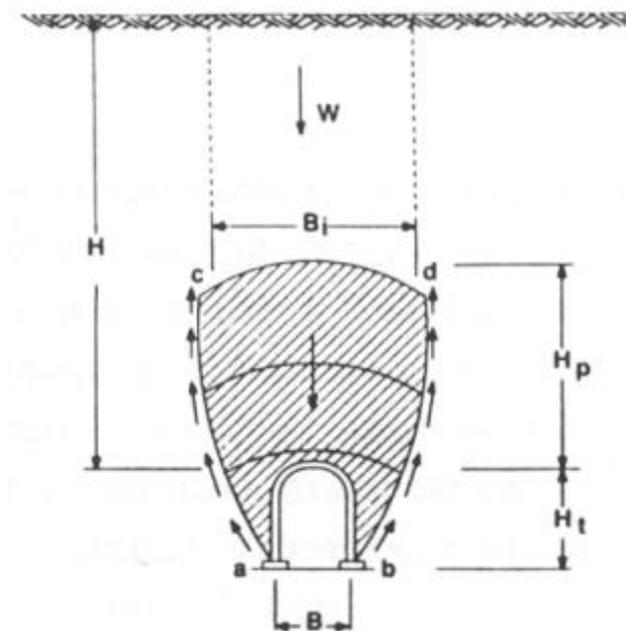
El concepto de Terzaghi para estimar la carga de la roca transmitida a los marcos de acero para el sostenimiento de un túnel. Al construir un túnel o una excavación, se rompe el equilibrio del macizo rocoso y se produce un relajamiento de la cohesión de las rocas circundantes a la excavación, las cuales tendrán que irrumpir en el túnel¹⁴.

Terzaghi clasifica el terreno en diez categorías y proporciona la “carga de roca” o tensión vertical. A este movimiento se oponen las fuerzas de fricción de los límites laterales de la roca circundante, y transfieren la parte más importante del peso de la carga de la roca W a los lados del túnel. El techo y los lados del túnel soportan el resto de la carga que equivale a una altura H_p .

El ancho B_i pertenece al roca donde existe el movimiento, el cual dependerá de las características de la roca y las dimensiones de la altura del túnel H_t y el ancho del túnel B . los conceptos de Terzaghi en relación con el comportamiento del terreno están sintetizados en la **Grafico 15**.

¹⁴ Gavilanes, H., & Andrade, B. *Introducción a la Ingeniería de túneles*. AIME 2004
Pág. 66

Grafico 15: Esquema de Terzaghi que representa el movimiento de roca suelta y la transferencia de carga de la roca circundante.



H = altura de sobrecarga desde la superficie.

H_p = altura que soporta la carga

B_i = ancho de la roca donde existe movimiento

H_t = altura del túnel

B = ancho del túnel

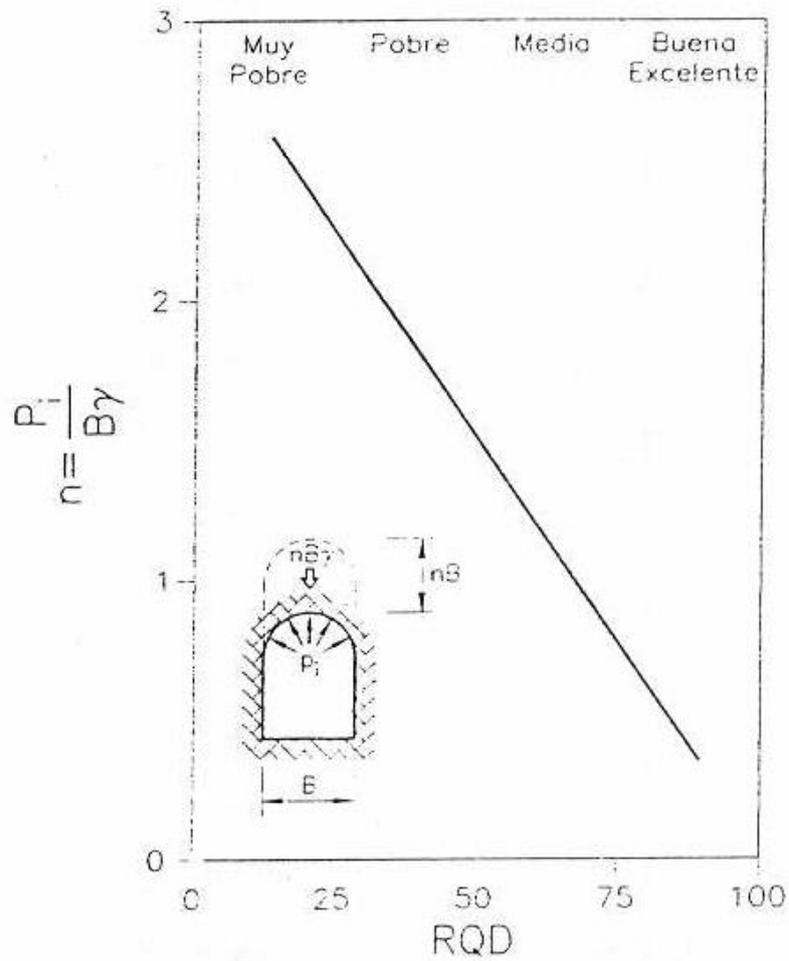
W = peso de la carga sobre el túnel

La clasificación original fue modificada por Deere en 1970, cuando se proponía la incursión del RQD la cual introdujo el “factor de caga” de Terzaghi con el RQD propuesto por Deere; donde fue aceptado más tarde en 1988¹⁵.

¹⁵ Navarro, S., Ortiz, R., & Ruiz, J. *Geotecnia Aplicada A La Construcción de Túneles*. S/N 2010. Pág. 32

Grafico 16: Curva relación Factor de carga vs RQD

- RELACION FACTOR DE CARGA DE TERZAGHI-RQD
(Cording et al, 1972)



Se completaba la clasificación de Terzaghi donde nos da la primea tabla de clasificación “In situ” del macizo.

Cuadro 10: Tabla de clasificación Terzaghi (modificada por Deere, 1970)

Espaciamiento de fracturas (cr)	RQD (%)	Condición de la roca	Carga de roca, Hp		Observaciones		
			inicial	final			
50	98	1. Dura e intacta	0	0	Revestimiento solo si hay desprendimiento o chasquido		
		2. Dura pero estratificada o esquistosa	0	0.25B	Desprendimiento general		
	95		3. Masiva, ligeramente fracturada	0	0.50B	Presión lateral si los estratos están inclinados, algún desprendimiento	
		90		4. Moderadamente fracturada en bloques algo abiertos	0		0.25B 0.35C
20	75		5. Muy blocosa, fisurada y fragmentada		0 a 0.6C	0.35B 1.10C	Sin o pequeña presión lateral
		5		25	6. Completamente trozada	1.10C	Considerable presión lateral, soporte continuo si hay infiltraciones
5	2	7. Grava y arena	0.54C a 1.20C	0.62C a 1.38C	Compacta Presión lateral $Ph=0,3\gamma(0,5Ht+Hp)$ Suelta		
			0.94C a 1.20C	1.08C a 1.38C			
			Débil y coherente	2	8. Comprimida, profundidad moderada		1.0C a 2.1C
9. Comprimida, gran profundidad		2.1C a 4.5C					
10. Expansiva		Hasta 75 m			Usar soporte circular. En casos extremos: utilizar refuerzo flexible		

Fuente: Ingeniería de túneles. AIME (2010).

Cabe recalcar que para las clases, 4, 5, 6,7, cuando se encuentran por debajo del nivel freático, la carga se reduce un 50%.

$C = B$ (ancho del túnel) + Ht (altura del túnel).

d = peso específico

Finalmente señala Singh, B., & Goel, R., en su libro "Rock Mass Classification" (ELSEVIER 1999) que la ecuación de Terzaghi se simplifica en:

$$W = H \times d \times H_p$$

Siendo H= altura de sobrecarga desde la superficie, H_p = altura que soporta la carga, W= peso de la carga sobre el túnel y d = peso específico. Una limitación de la teoría de Terzaghi es que no es aplicable para túneles más anchos que 9m.

5.2. Clasificación de BIENIAWSKI. Rock Mass Rating (RMR)¹⁶.

La clasificación Geomecánica o la clasificación del macizo rocoso del sistema (RMR) fue inicialmente desarrollado en el Consejo Sudafricano de Investigación Científica e Industrial (CSIR) por Bieniawski (1973) sobre la base de sus experiencias en los túneles poco profundos en rocas sedimentarias.

Este sistema de clasificación fue modificado años más tarde de acuerdo con los casos históricos llegando a estar disponibles conforme a los estándares y procedimientos internacionales. Esta variedad de aplicaciones en más de 351 casos históricos, señala la aceptación del sistema y su inherente facilidad de uso y versatilidad de uso en la práctica ingenieril, tales como túneles, cámaras, minas, taludes y cimentaciones.

Para aplicar el sistema de clasificación Geomecánica, en un sitio determinado se debe dividir en un número de unidades estructurales geológicas de tal manera que cada tipo de masa de roca está representado por una unidad estructural geológica separada. Los seis parámetros siguientes se determinan para cada unidad estructural:

1. Resistencia a la compresión uniaxial de la roca
2. Índice de calidad de la roca RQD
3. Espaciado entre discontinuidades
4. Condición de las discontinuidades
5. Condición de las infiltraciones de agua
6. Orientación de discontinuidades

¹⁶ Bieniawski, Z. T. (1995). *Engineering Rock Mass Classifications*. Wiley, New York

El sistema RMR esta sintetizado en la **Cuadro 11**. La guía de utilización se encuentra en el **ANEXO E** utilizado en el “Proyecto Hidroeléctrico Quijos”.

Cuadro 11: Clasificación Geomecánica RMR.

A. Parámetros de clasificación con sus valores							
Parámetros		Rango de Valores					
1	Resistencia de la roca intacta	> 10 MPa	4 – 10 MPa	2 – 4 MPa	1 – 2 MPa	Fara estos rangos es recomendable ensayos de	
	Resistencia de la roca a compresión uniaxial	> 250MPa	100 – 250 MPa	50 – 100 MPa	25 – 50 MPa	5-25 MPa 1 – 5 MPa <1 MPa	
	Puntaje	15	12	7	4	2 1 0	
2	Espacio entre fracturas mayores a 10cm (RQD(%))	Ex= 90 - 100	B= 75 - 90	R= 50- 75	P= 25 - 50	MP= <25	
	Puntaje	20	17	13	8	3	
3	Espaciado de las discontinuidades	MA= >2m	A=0,6 – 2 m	M=200- 600 mm	C= 60 – 200 mm	MC= <60 mm	
	Puntaje	20	15	10	8	5	
E. Guías para la clasificación según las condiciones de las discontinuidades							
4.1	Longitud (Persistencia)	A	B	C	D	E	F
		MBj=<1 m	Bj=1 – 3 m	Me=3 – 10 m	Alt= 10 – 20 m	Malt=>20 m	
	Puntaje	6	4	2	1	0	
4.2	Separación (diaclasa)	Mjun=<0,1 mm	Juntas= 0,1-0,5 mm	L abie= 0,5 – 2,5mm	Abiert= 2,5 - 10mm	M abiert= >10 mm	
		Puntaje	6	5	4	1	0
4.3	Rugosidad	Muy rugosa	Rugosa	Ligeramente rugosa	Lisa	Muy lisa	
		Puntaje	6	5	3	1	0
4.4	Relleno	Ninguno	Duro <5 mm	Duro > 5 mm	Blando <5 mm	Blando >5 mm	
		Puntaje	6	4	2	2	0
4.5	Meteorización	Inalterada	Ligeramente meteorizada	Modernamente meteorizada	Altamente meteorizada	Descompuesta	
		Puntaje	6	5	3	1	0
4	Condición de las discontinuidades (ver E)	Superficies muy rugosas, sin continuidad, sin separación, paredes de rocas sin alteración.	Superficies rugosas, con separación < 1mm. Paredes de roca ligeramente meteorizadas	Superficies ligeramente rugosas, con separación < 1mm.Paredes altamente meteorizadas	Superficies pulidas o rellenos < 5mm de espesor o separación 1- 5 mm. Continuas	Relleno blando > 5mm de espesor. Continuas	
		Puntaje	30	25	20	10	0
5	Agua Subterránea	Flujo por cada 10 m de longitud del túnel	Ninguno	< 10	10-25.	25 – 125	> 125
		(Presión de agua en la diaclasa) / (Tensión principal mayor σ_1)	0 kPa	< 0,1	0,1 – 0,2	0,2 – 0,5	>0,5
		Condiciones generales	Completamente seco	Húmedo	Mojado	Goteo	Flujo
	Puntaje	15	10	7	4	0	
RMR BASICO		GSI =		RMR AJUSTADO=		CLASIFICACIÓN	
C. Tipos de macizos rocosos determinados a partir de la valuación total							
F4	F5	F6	Tipos de Roca				
			I	II	III	IV	V
			Descripción	Muy buena	Buena	Regular	Mala
	Puntaje	100 ← 81	80 ← 61	60 ← 41	40 ← 21	< 21	
D. Significado de los tipos de roca							
Tipo de Roca		I	II	III	IV	V	
Cohesión del macizo rocoso (kPa)		>400	300 - 400	200 - 300	100 - 200	<100	
Angulo de fricción del macizo rocoso (°)		>45°	35° - 45°	25° - 35°	15° - 25°	<15°	
Tiempo medio de sosténi		10 meses a 20 años, tramo excavado de 5 a 20 m	30 días a 10 meses, tramo excavado de 5 a 20 m	2 días a 1 mes, tramo excavado de 5 a 12 m	4 horas a 2 días, tramo excavado de 1 a 5 m	1 a 4 horas, tramo excavado de 0,5 a 2 m	
F. Efecto de la orientación del rumbo y buzamiento de las discontinuidades en los túneles							
Rumbo perpendicular al eje del túnel			Rumbo paralelo al eje del túnel				
F 1	Avance en el sentido del buzamiento –Buz.45-90°	F 2	Avance en el sentido del buzamiento Buz.20-45°	F 3	Buzamiento 45-90°	F 4	Buzamiento de 20-45°
	Muy favorable (0)	Favorable (-2)	Muy desfavorable (-12)	Regular (-5)			
F 5	Avance contra el sentido del buzamiento –Buz.45-90°	F 6	Avance contra el sentido del buzamiento –Buz.20-45°	F 7	Buzamiento 0-20° Independiente del rumbo		
F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7	
Regular (-5)		Desfavorable (-10)		Desfavorable (-10 clave; 0 para hastial)			

Fuente: Fiscalización del Proyecto Hidroeléctrico Quijos. (2012).

Resistencia a la compresión uniaxial de la roca

La resistencia del material de roca intacta debe obtenerse a partir de núcleos de roca de acuerdo con las condiciones del lugar. Las clasificaciones basadas en resistencia a la compresión uniaxial y fortaleza carga puntual tanto se da en la Cuadro 12.

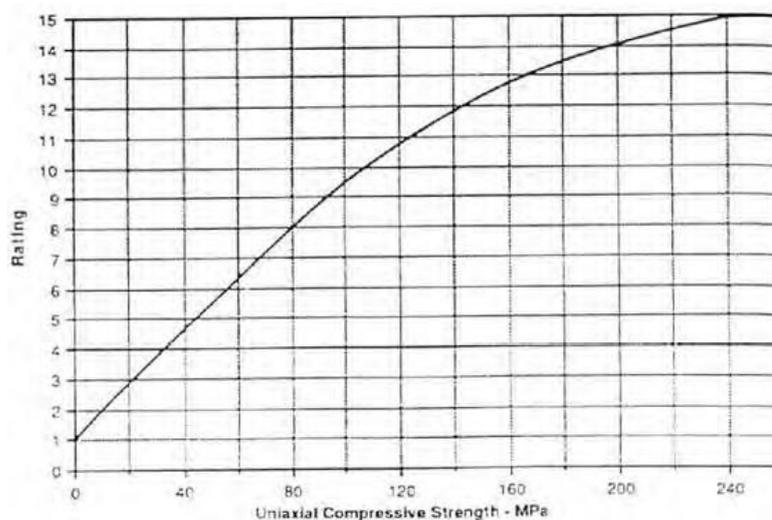
Cuadro 12: Valores de resistencia a la compresión uniaxial

Descripción Cualitativa	Resistencia a la compresión uniaxial	Resistencia de la roca intacta	Puntaje
Excepcionalmente Fuerte	> 250 MPa	> 10 MPa	15
Muy fuerte	100 – 250 MPa	10 – 4 MPa	12
Fuerte	50 – 100 MPa	2 – 4 MPa	7
Promedio	25 – 50 MPa	1 – 2 MPa	4
Débil	5 – 25 MPa		2
Muy débil	1 – 5 MPa	Para estos rangos es recomendable ensayos de compresión uniaxial	1
Extremadamente débil	< 1 MPa		0

Nota: En la resistencia a la compresión de menos de 0,6 MPa, muchos materiales rocosos sería considerado como el suelo.

Considerando el promedio de las condiciones típicas los valores interpolados es representado en la siguiente curva:

Grafico 17: Curva de relación Resistencia de compresión uniaxial vs puntaje



Índice de calidad de la roca RQD

Calidad de la roca designación RQD se introdujo por DU Deere en 1964 como un índice de evaluación de la calidad de la roca cuantitativamente. Es un índice más sensible de la calidad del núcleo de la recuperación de núcleos.

El RQD es un núcleo modificado por ciento - de recuperación que incorpora piezas solamente sonido de núcleo que son 100 mm (4pulgadas.) O más de longitud a lo largo de los ejes centrales

$$RQD = 100 \frac{\text{Longitud de testigo en trozos } >10 \text{ cms}}{\text{Longitud perforada}}$$

Existen otros métodos llamados indirectos de los que destacan los siguientes:

Método sísmico

El método de estudio sísmico hace uso de la variación de las propiedades elásticas de los estratos que afectará a la velocidad de las ondas sísmicas que viajan a través de ellos, proporcionando así útil información acerca de los estratos del subsuelo.

Este método tiene las ventajas de ser relativamente barato y rápido de aplicar y ayuda en el estudio de gran volumen de macizos rocosos. La siguiente información con respecto a las masas de roca se obtiene de estas pruebas.

Ubicación y configuración de lecho de roca y las estructuras geológicas en el subsuelo, el efecto de discontinuidades en masa de roca se puede estimar comparando in situ la velocidad de la onda de compresión con la velocidad sónica en laboratorio del núcleo de perforación intacta obtenido de la misma masa de roca.

$$\text{RQD (\%)} = (V_f / V_i)^2 \cdot 100$$

Donde, V_f es la velocidad de onda de compresión in situ, y V_i es la velocidad de onda de compresión en un núcleo de roca intacta.

Método de conteo de juntas

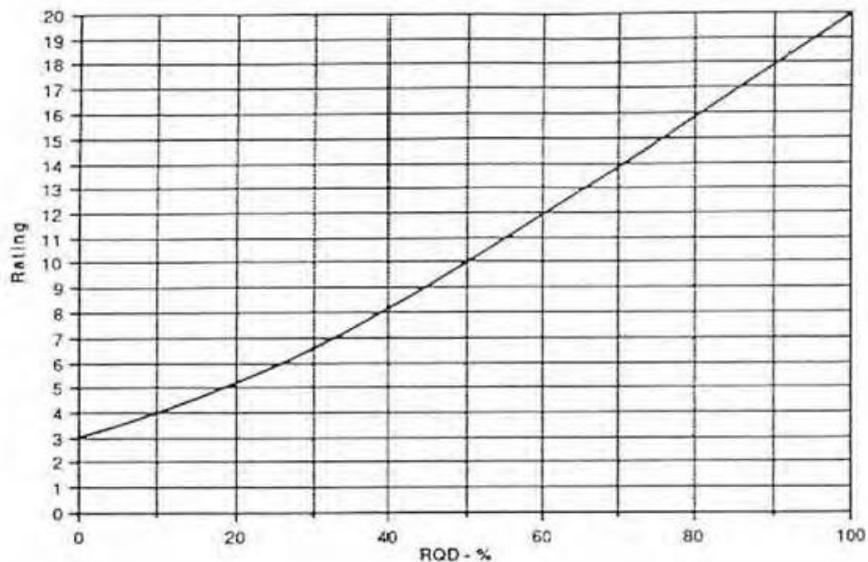
Cuando núcleos no están disponibles, RQD puede estimarse a partir de número de articulaciones (discontinuidades) por unidad de volumen J_v . Una relación simple que se puede utilizar para convertir J , en RQD de masas de roca libre es (Palmström, 1982),

$$\text{RQD} = 115 - 3.3 J_v$$

Donde, J_v representa el número total de discontinuidades por metro cubico.

Cuadro 13: Descripción de valores de RQD

Descripción	RQD	Puntaje
Excelente	90 – 100	20
Bueno	75 – 90	17
Regular	50 – 75	13
Pobre	25 – 50	8
Muy Pobre	< 25	3

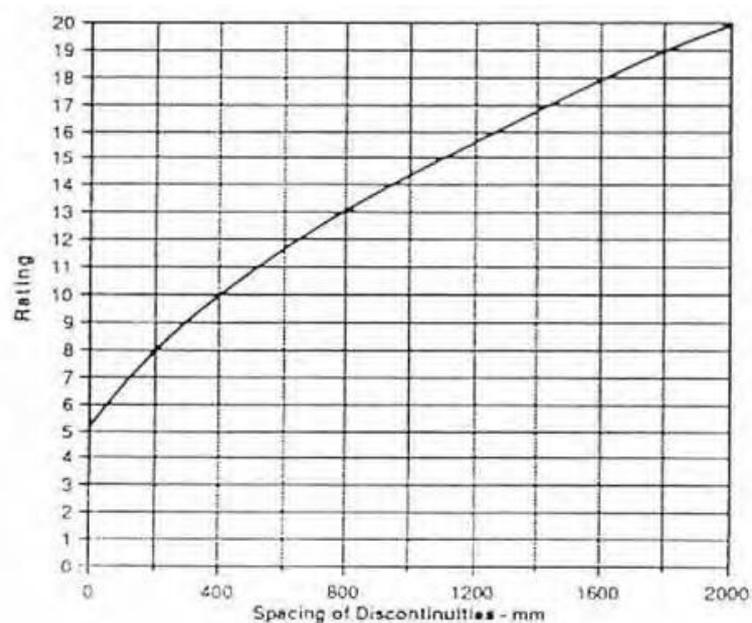
Grafico 18: Curva de relación RQD vs Puntaje

Espaciado entre discontinuidades

El término discontinuidad cubre las juntas, foliaciones, zonas de cizalla, fallas menores, u otras superficies de debilidad. La distancia lineal entre dos discontinuidades adyacentes se debe medir para todos los conjuntos de discontinuidades y la calificación se debe obtener de la Cuadro 14 para la discontinuidad más crítica.

Cuadro 14: Valores de espaciado entre discontinuidades

Descripción	Espaciado m	Puntaje
Muy Abierta	> 2	20
Abierta	0,6 – 2	15
Moderado	0,2 – 0,6	10
Cerrado	0,06 – 0,2	8
Muy Cerrado	< 0,06	5

Grafico 19: Curva de relación Espaciado de discontinuidades vs Puntaje

Condición de las discontinuidades

Este parámetro incluye la rugosidad de las superficies de discontinuidad, de su separación, la longitud o la continuidad, la meteorización de la roca de la pared o los planos de debilidad, y el relleno de material. Los detalles de calificación se dan en la Cuadro 15.

Cuadro 15: Puntaje por condición de discontinuidades

Descripción	Puntaje
Superficies muy rugosas, sin continuidad, sin separación, paredes de roca sin alteración	30
Superficies rugosas, con separación < 1mm. Paredes de roca ligeramente meteorizadas	25
Superficies ligeramente rugosas, con separación < 1mm. Paredes altamente meteorizadas	20
Superficies pulidas con rellenos < 5mm de espesor o separación 1 – 5 mm. Continuas	10
Relleno blando > 5mm de espesor. Separación >5mm. Continuas	0

Condición de las infiltraciones de agua

En el caso de los túneles, la tasa de flujo de agua subterránea en litros por minuto por longitud de 10 metros del túnel debe ser determinado, o una condición general puede ser descrito como completamente seco, húmedo, mojado, chorreando (goteo), y fluyendo (flujo). Si se dispone de datos reales de presión de agua, éstos deben expresarse y se expresan en términos de la relación de la presión de agua de infiltración a la mayor tensión principal. Las calificaciones como por la condición del agua se muestran en la Cuadro 16.

Cuadro 16: Valores y puntaje por condición de agua subterránea

Flujo por cada 10 m de longitud de túnel	Ninguno	< 10	10 – 25	25–125	>125
Presión de agua en la diaclasa / Tensión de esfuerzo principal	0 KPa	< 0,1	0,1–0,2	0,2–0,5	>0,5
Descripción general	Completamente seco	Húmedo	Mojado	Goteo	Flujo
Puntaje	15	10	7	4	0

Orientación de discontinuidades

Orientación de las discontinuidades significa la afectación de discontinuidades. La afectación debe registrarse con referencia al norte magnético. El ángulo de inclinación es el ángulo entre la horizontal y el plano de discontinuidad tomada en una dirección del plano. El valor de la inmersión y la afectación se debe registrar como se muestra en la Cuadro 16. Además, la orientación del eje del túnel o la cara pendiente o alineación también debe ser registrada en sets que van desde la F1 hasta F7.

La influencia de la afectación y la caída de las discontinuidades se consideran con respecto a la dirección de dirección del túnel o pendiente orientación de la cara o la alineación. Para facilitar una decisión sobre si la afectación y la inmersión son favorables o no, se debe hacer referencia a las Cuadro 16, que proporcionan una evaluación cuantitativa del efecto crítico orientación conjunta con respecto a los túneles y presas fundaciones respectivamente.

Cuadro 17: Orientación de discontinuidades

F. Efecto de la orientación del rumbo y buzamiento de las discontinuidades en los túneles			
Rumbo perpendicular al eje del túnel		Rumbo paralelo al eje del túnel	
F 1	Avance en el sentido del buzamiento –Buz.45-90°	F 2	Avance en el sentido del buzamiento Buz.20-45°
F 3	Buzamiento 45-90°	F 4	Buzamiento de 20-45°
Muy favorable (0)		Favorable (-2)	Muy desfavorable (-12)
F 5	Avance contra el sentido del buzamiento –Buz.45-90°	F 6	Avance contra el sentido del buzamiento – Buz.20-45°
F 7	Buzamiento 0-20° Independiente del rumbo		
Regular (-5)		Desfavorable (-10)	Desfavorable (-10 clave; 0 para hastial)

Fuente: ASTEC. Registro Geotécnico RMR (2012).

Correlaciones

a.-La carga para el sostenimiento puede ser determinado con el RMR

$$w = \frac{100 - RMR}{100} \gamma B$$

Donde;

W = carga para sostenimiento Kn (Terzaghi)

B = ancho del túnel

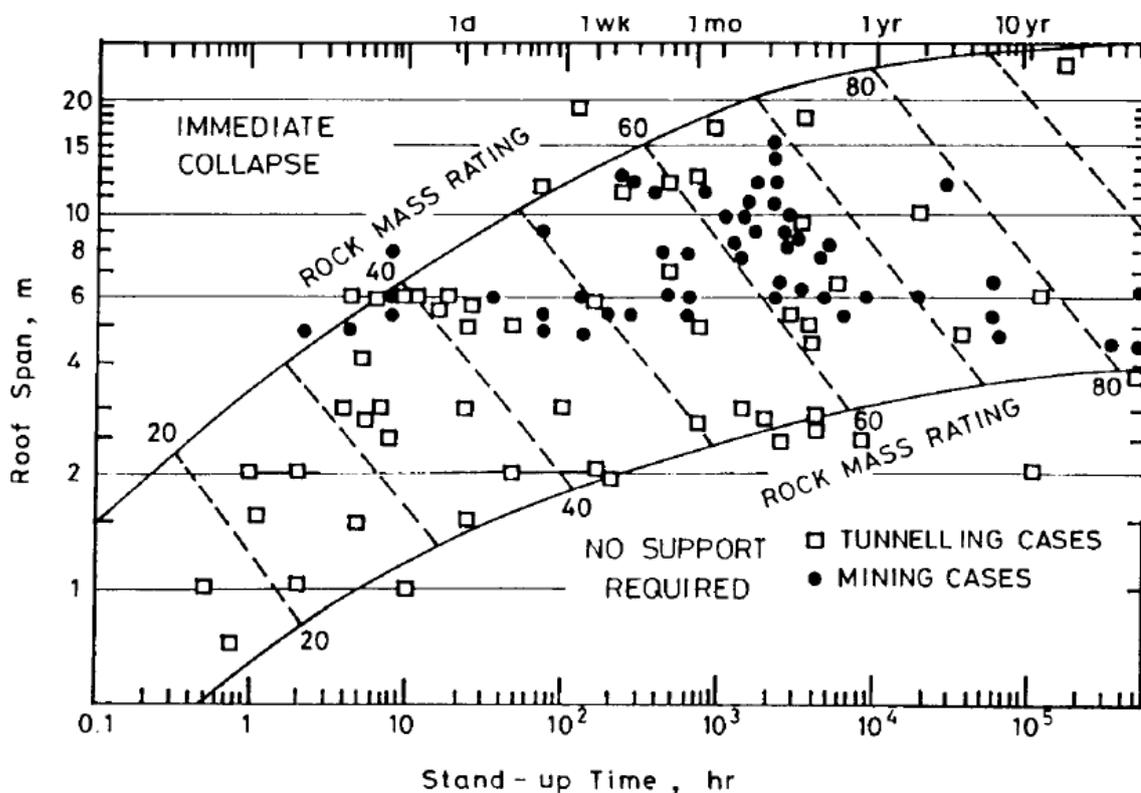
γ = peso específico de la roca kg/m³

b.-Se correlaciona con el índice Q:

$$RMR = 9 \ln Q + 44$$

El sistema RMR llega a definir sostenimiento dependiendo del puntaje del mismo, del cual se obtiene la tabla que se la utiliza en nuestro medio, donde, se representa el tiempo promedio para sostenimiento (claro activo), en la siguiente grafica se resume dicho tiempo con el RMR.

Grafico 20: Claro activo utilizando RMR.



Fuente: Singh, B., & Goel, R.K. (1999). *Rock Mass Classification*. Ed. ELSEIVER First Edition. ISBN: 0080430139. Pág. 40

5.3. Clasificación de Barton (Sistema Q).¹⁷

Barton, Lien y Lunde (1974) en el Instituto Geotécnico Noruego (NGI) propusieron originalmente el sistema-Q de la clasificación del macizo rocoso sobre la base de unas 500 historias clínicas de túneles y cavernas. (Ver Anexo E) Han definido la roca masiva de calidad Q de la siguiente manera:

$$Q = \frac{RQD}{J_n} \times \frac{J_r}{J_a} \times \frac{J_w}{SFR}$$

Donde;

RQD = Índice de calidad de roca >10

Jn = Numero de juntas

¹⁷ Barton, N., & Grimstad, E. (2000). *El sistema Q para la selección del sostenimiento en el método noruego de excavación de túneles*. Norwegian Geotechnical Institute.

Jr = Número de rugosidad conjunta para el grupo conjunta orientada críticamente

Ja = Número alteración conjunta para el grupo conjunta orientada críticamente

Jw = Factor Común de reducción de agua

SFR = Factor de reducción del estrés

Grafico 21: Valores de Índice Q con tipos de Roca

Tipo I:	1000	a	54.63
Tipo II:	54.62	a	5.92
Tipo III:	5.915	a	0.642
Tipo IV:	0.641	a	0.0696
Tipo V:	0.0695	a	0.001

RQD

El valor RQD en porcentaje es la calificación de RQD para el sistema Q. En caso de una masa de roca pobre donde RQD es menos de 10 por ciento, un valor mínimo de 10%, se deberá utilizarse para evaluar Q.

Cuadro 18: RQD por número de diaclasas.

RQD – DESIGNACION DE CALIDAD DE ROCA			(OBS. a)
R1	<i>muy pobre</i>	<i>>27 diaclasas /m3</i>	<i>0–25</i>
R2	<i>pobre</i>	<i>20 a 27 diaclasas /m3</i>	<i>26–50</i>
R3	<i>regular</i>	<i>13 a 19 diaclasas /m3</i>	<i>51–75</i>
R4	<i>buena</i>	<i>8 a 12 diaclasas /m3</i>	<i>76–90</i>
R5	<i>excelente</i>	<i><8 diaclasas /m3</i>	<i>91–100</i>

Número de familias de juntas (Jn)

El parámetro Jn, que representa el número de familias de juntas, a menudo se ve afectada por foliaciones, esquistosidad, divisiones pizarrosas o lechos, etc.

Si se desarrolla con fuerza, estas discontinuidades paralelas deben contarse como una familia de juntas completa. Si hay pocas juntas visibles o sólo los descansos ocasionales en núcleo de roca debido a estas características, entonces uno debe contar con ellos como "una junta al azar" (esporádica), mientras que la evaluación de Jn se evalúa como en el cuadro 19. Clasificación de Jn es aproximadamente igual al cuadrado del número de familias de juntas.

Cuadro 19: Número de familia de juntas

Jn – NUMERO DE FAMILIAS DE JUNTAS		(OBS. b)
A	<i>roca masiva, juntas esporádicas</i>	0,5–1,0
B	<i>un sistema de juntas</i>	2
C	<i>un sistema de juntas más juntas esporádicas</i>	3
D	<i>dos sistemas de juntas</i>	4
E	<i>dos sistemas de juntas más juntas esporádicas</i>	6
F	<i>tres sistemas de juntas</i>	9
G	<i>tres sistemas de juntas más juntas esporádicas</i>	12
H	<i>cuatro o mas sistemas de juntas, esporádicas, muy fracturado, poliedros irregulares</i>	15
I	<i>roca fragmentada, "triturada"</i>	20

Nota: para intersección de túneles utilizar 3 x Jn; y para portales 2 x Jn

Índice de rugosidad de las juntas e Índice de alteración y relleno de juntas (Jr y Ja)

Los parámetros Jr y Ja, dados en los Cuadros 20 y 21, respectivamente, representan la rugosidad y el grado de alteración de las paredes comunes o materiales de relleno. Los parámetros Jr y Ja, deben obtenerse para los más débiles – set de juntas críticas o discontinuidad con arcilla de relleno en una zona determinada.

Si el conjunto de las articulaciones o la discontinuidad con el valor mínimo de (Jr / Ja) está orientado favorable para la estabilidad, de un segundo menos favorable

orientados conjunto junta o discontinuidad puede ser de mayor importancia, y su valor de (J_r / J_a) debe ser utilizado en la evaluación de Q a partir de la ecuación.

Cuadro 20: Clasificación de Índice de rugosidad de juntas

Jr – INDICE DE RUGOSIDAD DE LAS JUNTAS		
a) paredes de las juntas en contacto (OBS. c)		
b) paredes con menos de 10cm de cizallamiento		
A	discontinuas	4
B	onduladas, irregulares y rugosas	3
C	onduladas y lisas	2
D	onduladas y estrías de fricción	1,5
E	planas, irregulares y rugosas	1,5
F	planas y lisas	1,0
G	planas y estrías de fricción	0,5
c) sin contacto entre paredes, zonas cizalladas (OBS. d)		
H	zonas con minerales arcillosos de espesor suficiente para impedir el contacto entre paredes	1,0
J	zonas arenosas y fragmentos con espesor suficiente para impedir el contacto entre paredes.	1,0

Notas:

Descripción referente a las ocurrencias de pequeña e intermedia escala, en este orden.

Adicione 1 si el espaciamiento entre el principal sistema de juntas fuere mayor a 3 metros

Cuadro 21: Clasificación de índice de alteración y relleno de juntas

Ja – INDICE DE ALTERACION Y RELLENO DE JUNTAS			
a) contacto entre paredes sin películas		J_r	J_a
A	sellada, dura, impermeable, rellena por cuarzo, calcita, etc.		0,75
B	paredes sanas, superficie apenas descolorida	25°–35°	1,0
C	pared poco alterada, sin minerales blandos 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, coque o mica. 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 a medianamente consolidada, continua, espesor ≤ 5 mm	12°–16°	8,0
J	minerales arcillosos expansivos, esmectitas, continua espesor ≤ 5 mm; valor de J_a dependerá del % de arcilla expansivos y acceso a agua., etc.	6°–12°	8–12
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-arenoso y pocos minerales arcillosos, dura.	–	5,0
OPR	zonas de arcilla espesa y continua ver g, h, j, para descripción.	6°–24°	10, 13 o 13–20

El parámetro J_w . (Cuadro 22) es una medida de la presión del agua, que tiene un efecto adverso sobre la resistencia al cizallamiento de las juntas. Esto es debido a la reducción en la tensión normal efectiva a través de las juntas. El agua en adición puede causar reblandecimiento y posible de lavado en el caso de las juntas con relleno de arcilla

Cuadro 22: Clasificación presencia de agua

J_w – FACTOR DE REDUCCION DEBIDO A PRESENCIA DE AGUA (OBS. e)		
A	<i>excavación seca o gotea, ≤ 5l/min localmente</i>	1,0
B	<i>caudal o presión media, puede lavar el relleno</i>	0,66
C	<i>caudal o presión alta en roca competente y juntas sin relleno</i>	0,5
D	<i>caudal o presión alta, considerable lavado de las juntas</i>	0,33
E	<i>caudales excepcionales después de la detonación, decreciendo con el tiempo</i>	0,2–0,1
F	<i>caudales excepcionales después de la detonación, sin disminución significativa.</i>	0,1–0,05

Nota: Los ítems C y F son estimaciones groseras; los valores de J_w podrán aumentarse si los caudales son medidos en los drenajes ejecutados.

Factor de reducción debido a tensiones en el macizo (SRF)

El parámetro SRF (Cuadro 23) es una medida de: (i) la presión de aflojamiento en el caso de una excavación a través de zonas de cizalla y las masas de roca que soporta arcilla,(ii) el estrés roca q_c / o_i en una masa de roca competente donde q_c es resistencia a la compresión uniaxial del material rocoso y o_i es el principal esfuerzo principal antes de la excavación, y (iii) squeezing o hinchazón por presiones en macizos rocosos incompetentes. SRF también puede considerarse como un parámetro total de estrés.

Cuadro 23: Clasificación SFR completa

SRF – FACTOR DE REDUCCION DEBIDO A TENSIONES EN EL MACIZO				
a) ZONAS DEBILES interceptando la excavación, las cuales podrían causar caída de bloques de roca cuando el túnel es excavado (OBS. f)				SRF
A	abundantes zonas débiles o milonitos 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 $\leq 50m$)			5
C	zonas débiles aisladas, con arcilla o roca desintegrada (profundidad $\geq 50m$)			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 $\leq 50m$)			5,0
F	zonas cizalladas aisladas, en roca competente, sin arcilla; (profundidad $\geq 50m$)			2,5
G	fragmentada, juntas abiertas, muy fracturada, "triturada"			5,0
b) ROCA COMPETENTE; problemas de tensión en el macizo (OBS. g)				
		σ_c / σ_1	σ_θ / σ_c	SRF
H	tensión baja, pequeña cobertura	>200	$<0,01$	2,5
J	tensión media, cobertura media	200–10	0,01–0,3	1
K	tensión alta, gran cobertura	10–5	0,3–0,4	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 pocos minutos	3–2	0,65–1	50–200
N	mucho explosión de roca (deformación y explosión) y deformación dinámica inmediata, roca maciza	< 2	$>1,0$	200 400
c) TERRENO FLUYENTE (Squeezing rock): flujo plástico de roca incompetente debido a altas presiones de roca. (obs. h)				
			σ_θ / σ_3	SRF
O	moderado "Squeezing" con bajas presiones de roca		1–5	5–10
P	intenso "Squeezing" con altas presiones de roca		>5	10–20
d) TERRENOS EXPANSIVOS: expansión en función de la presencia de agua				
R	moderada expansibilidad y consecuente presión de roca			5 –10
S	intensa expansibilidad y consecuente presión de roca			10 –15

Notas:

Reducir esos valores de SFR, de 25% a 50%, si zonas relevantes de debilidad influyen mas no interceptan con la excavación.

Para fuerte campo de tensiones vírgenes: cuando $5 \leq \sigma_1 / \sigma_3 \leq 10$, reducir σ_c en 25%; $\sigma_1 / \sigma_3 > 10$ reducir σ_c en 50%. Donde σ_c = resistencia a la compresión nono – axial, σ_1 y σ_3 máxima y, mínima tensiones principales actuantes, σ_θ tensión tangencial máxima (estimada de la elasticidad). Para pocos casos registrados, donde la cobertura es menor que el vano; se sigue el aumento del SFR de 2,5 para 5,0.

"Squeezing" puede ocurrir en profundidades de $h > 350 Q^{1/3}$. La resistencia a la compresión del macizo puede ser estimada de la siguiente relación: $0,7\gamma Q^{1/3}$ en MPa, donde γ = peso específico de la roca en KN/m^3 .

La comprobación del SFR adoptado deberá realizarse a través de la instalación, lectura y análisis de los datos de convergencia e intersecciones de macizo rocoso

Para portales e intersecciones de túneles, en largo hasta 1,5 x diámetro (vano), es ESR deberá ser igual 1, independiente del ESR adoptado en la tabla.

Tamaño de la excavación subterránea y las consideraciones de seguridad

Además de la calidad del macizo rocoso (el valor-Q), otros dos factores son decisivos para el diseño de soporte en túneles y cavernas. Estos factores son las condiciones de seguridad y las dimensiones, por ejemplo, el ancho del túnel o la altura de las paredes están siendo consideradas. Generalmente habrá un incremento en la necesidad de soporte con el incremento de las dimensiones del túnel. Las condiciones de seguridad dependerán de cómo será usada la obra subterránea. Un túnel de carretera necesitara un nivel de seguridad mayor que un túnel acueducto. Para expresar las condiciones de seguridad, un factor llamado ESR (Radio de Soporte de Excavación) es usado.

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 24: Cuadro de clasificación ESR

TIPO DE EXCAVACIÓN		ESR
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 piloto, 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, estación 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: Ucar. (2014). *Registro de certeza de excavaciones subterráneas*. Medellín - Colombia

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

$$De = \frac{\text{Ancho, diametro o altura (m) de la excavacion}}{\text{Reacion de sostenimiento de la excavacion (ESR)}}$$

Diseño de sostenimiento

Para definir el sostenimiento con Q se distinguen tres casos:

1.- Sostenimiento de hormigón: se calcula el espesor de hormigón derivado de la siguiente ecuación:

$$t = \frac{PR}{\sigma_{cc}}$$

Dónde:

t = espesor de hormigón para revestimiento

P = presión aplicada

R = radio interior

σ_{cc} = resistencia a la compresión uniaxial del hormigón

El valor de P de presión aplicada viene determinada por el valor de Q, se distinguen dos valores de P una para clave y otra para paredes las cuales son las siguientes:

Techo:

$$P = \frac{2}{3} J n^{1/2} J r^{-1} Q^{-1/3}$$

Paredes: se modifica de la ecuación anterior el valor de Q, para esto se aumenta su calidad como indica la tabla siguiente:

Cuadro 25: Determinar sostenimiento de hormigón con índice Q

En macizo de buena calidad	$Q > 10$	El actual valor-Q es multiplicado por 5.
Para macizo de mediana calidad	$0.1 < Q < 10$	El actual valor-Q es multiplicado por 2.5 (En casos de alto esfuerzo el actual valor-Q es usado)
Para macizos de pobre calidad	$Q < 0.1$	El actual valor-Q es usado.

Fuente: Vallejo. (2012). Ingeniería Geológica

2.- Pernos y anclajes

Se calcula el espaciado de los pernos a partir de la presión P y la carga de trabajo del perno de forma individual. La longitud de los pernos se obtiene con las siguientes expresiones:

Para clave:

$$L = \frac{2 + 0,1B}{ESR}$$

Para paredes:

$$L = \frac{2 + 0,1H}{ESR}$$

Donde;

L = Longitud de perno

B = ancho de excavación

H = altura excavación

ESR = relación de sostenimiento de excavación

Para anclajes se utiliza las siguientes formulas, donde, se diferencian las de la clave y paredes de la excavación.

Para clave:

$$L = 0,4 \frac{B}{ESR}$$

Para paredes:

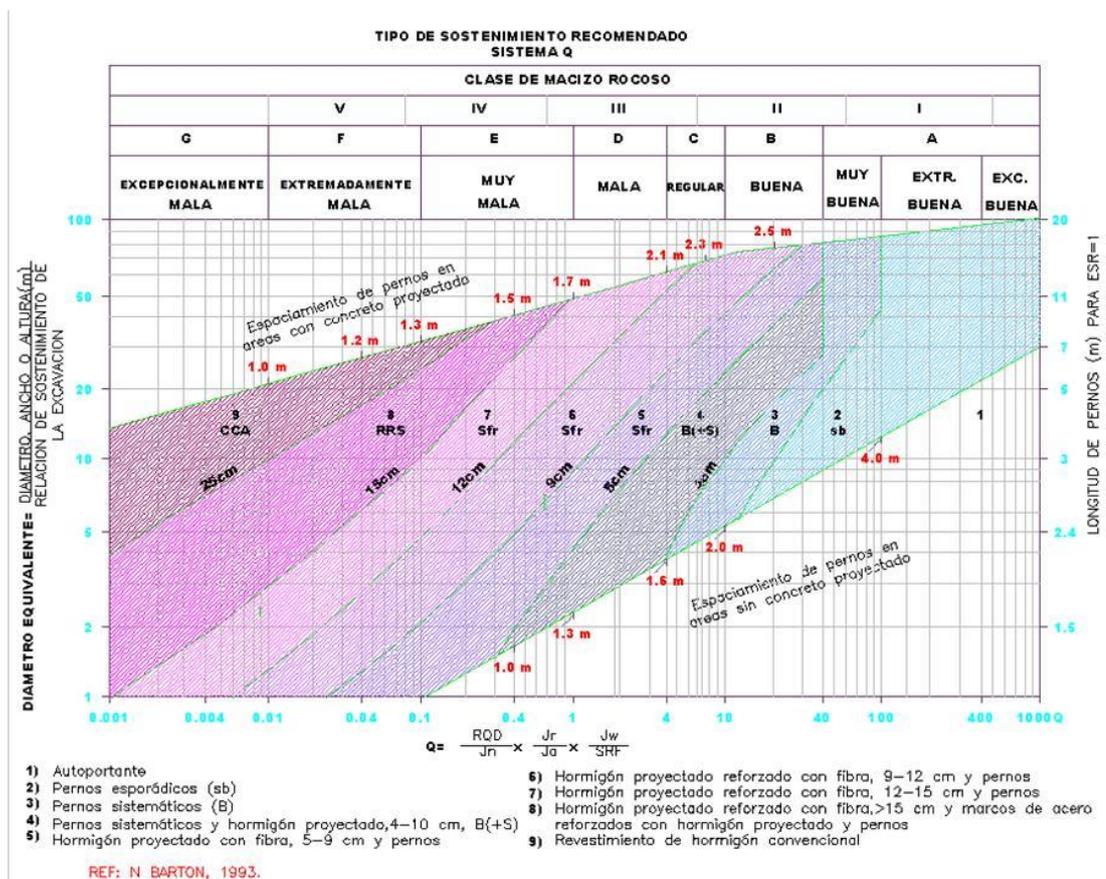
$$L = 0,35 \frac{B}{ESR}$$

3.- Hormigón lanzado

Se considera que el hormigón lanzado se coloca en capas de 2 – 5 cm de potencia, su función es evitar la meteorización de la roca, especialmente en juntas.

La relación entre el índice Q y la dimensión equivalente (De) de una excavación que se autostendrá se ilustra en el Gráfico 22. Además se estima la longitud de pernos para cada caso.

Grafico 22: Abaco actualizado para el proyecto Hidroeléctrico Quijos con Índice Q.



Fuente: Informe Técnico Barton (2012). Quito – Ecuador.

Correlación con RMR

Se lo correlaciona con el RMR:

$$Q = e^{\frac{RMR-44}{9}}$$

VI. ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS Y DEFINICIÓN DE PARÁMETROS GEOMECÁNICOS DEL ALUVIAL DE LA VENTANA 2

6.1. Análisis Geomecánico del aluvial

Como se definió en el capítulo 4 de este estudio, se dio a conocer todos los parámetros que condicionan la Geomecánica del aluvial. Todos estos parámetros han arrojado rangos de valores para todo el túnel que posee una longitud de 135 m.

Como base para este análisis de excavación y sostenimiento se ha basado en las diferentes clasificaciones Geomecánicas, tratados en el Capítulo 5. A continuación se presenta una tabla de resumen de los parámetros obtenidos en pruebas de laboratorio

Cuadro 26: Resumen de parámetros

Parámetro	Valores obtenidos o rango de valores obtenidos
Humedad	54,43%
Permeabilidad	$3,20^{-4} - 1,50^{-3}$ cm/s
Granulometría	d40 = 22.2%
Esponjamiento	17 a 24 %
Cohesión	150 – 320 KPa
Capacidad De carga	13.1 – 70,40 kg/cm ²
Limite plástico	22,77%
Limite Liquido	14,25 %

Fuente: ASTEC – Integral (2014). Resumen de pruebas de laboratorio

Con estos parámetros vamos a obtener los parámetros más importantes, que se necesitan para una clasificación Geomecánica las cuales se derivan en clasificarlo en los 5 tipos de macizos definidos tanto en Barton y Bieniawski. Ya que para la construcción se ha definido planos de licitación contemplados en los contratos de ejecución del proyecto Hidroeléctrico Quijos, definido y auditado por la República del Ecuador, a través de su Supervisor CELEC – EP.



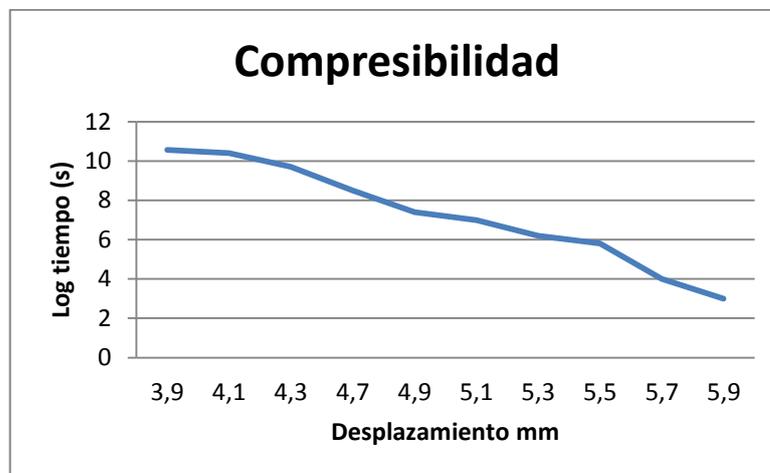
Foto 4: Delimitación de los eventos volcánicos.

Al hacer el levantamiento in situ del portal de acceso ventana 2 se define los diferentes eventos, que dan la característica especial a esta entrada, ya que geológicamente hablando se evidencio según la fotografía (izquierda) seis eventos que recubrieron el aluvial. Teniendo una sobrecarga de 420m de lava columnar.

Para la caracterización de este material aluvial se realizó, un análisis detallado de las condiciones de consolidación y evaluación de la compresibilidad, al ser un material aluvial su compresibilidad (consolidación) es baja, ya que su volumen casi no cambia en fusión de la carga que soporta.

En la grafico 23 se presenta la consolidación del aluvial con un esfuerzo aplicado de 13.1 Kg/cm² hasta 70.40 Kg/cm², son materiales consolidados con un contenido de agua que varía hasta el 54.43%.

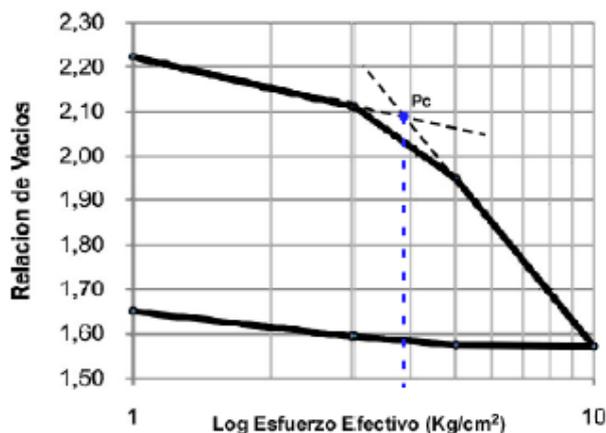
Grafico 23: Grafica de compresibilidad (consolidación) de una muestra del portal PHQ ventana 2



Fuente: GEORISK (2013). Informe Geotécnico PHQ. Dr. Daniele Battaglia.

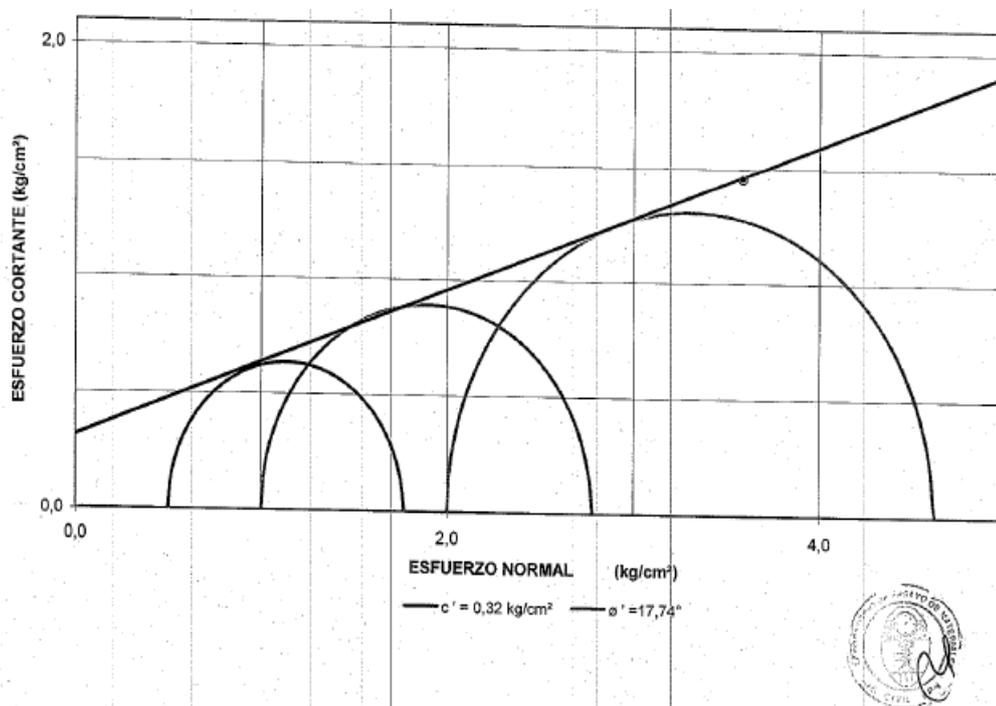
Estas propiedades se determinaron en muestras inalteradas marcadas en muestras tomadas a diferentes profundidades (avances) respectivamente. Las gráficas de compresibilidad, **relación de vacíos vs esfuerzo efectivo**, correspondientes se presentan en el Grafico 24. Se tiene 18.8% de porosidad según ensayos de laboratorio. Ver anexo D.

Grafico 24: Relación de vacíos en función del esfuerzo en muestras inalteradas.



Para completar el análisis del comportamiento mecánico de los materiales aluviales se realizaron pruebas al corte con aparato de corte directo en laboratorios y con aparato triaxial.

Grafico 25: Resistencia la corte típico en los materiales estudiados de la zona portal del PHQ ventana 2



Fuente: Informe de laboratorio. ASTEC. (2014).

De acuerdo con los resultados presentados deben a su alta compresibilidad a la integración en su matriz de cenizas “volcánicas”, estos materiales muestran una alta compresibilidad con una baja retención de agua, manteniendo una humedad constante. Las pruebas de resistencia al corte del material aluvial presentan una cohesión mediada, indicado por una intrusión o posible interconexión de los ríos Quijos y Papallacta; corrobora sus elevados contenidos de agua, índice de plasticidad y relación de vacíos. La composición de estos materiales explicara que mantengan su elevada relación de vacíos en toda la sección hasta los 135 m, según nos dan los sondeos.

6.2. Definir la clasificación del aluvial en base a los parámetros planteados

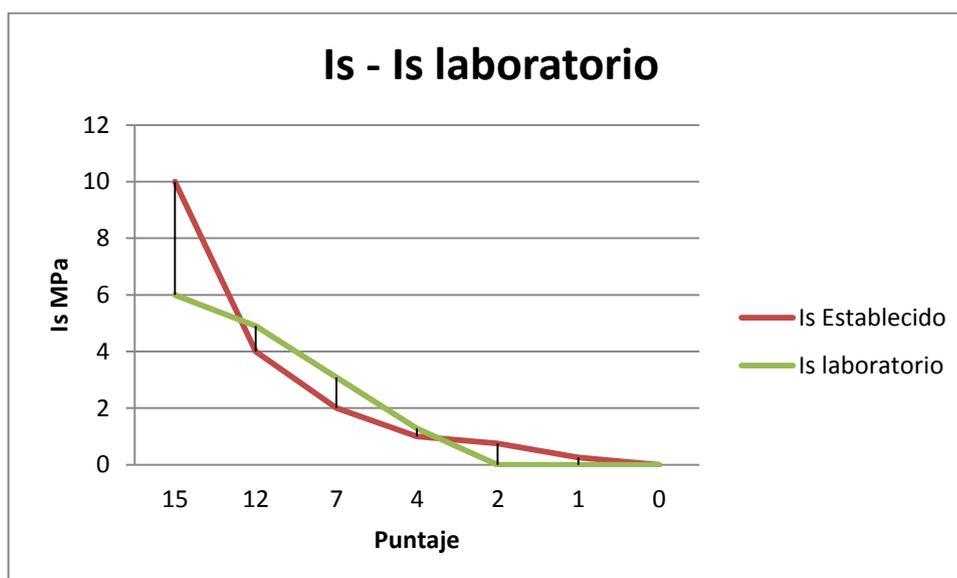
.CALIFICACIÓN SEGÚN BIENIAWSKI

Como se planteó en el capítulo 5, esta clasificación más conocida como RMR, evalúa 5 parámetros que son básicamente: resistencia de la roca intacta, RQD, Espaciado de discontinuidades, Condición de las discontinuidades y agua subterránea. Donde al final se planteó un diagrama de sostenimiento en función del ancho de la excavación el RMR y el tiempo de sostén sin sostenimiento. A continuación se planteara un sistema basado en los resultados obtenidos del laboratorio y se va a obtener valores aproximados a los parámetros de Bieniawski mediante métodos empíricos y estadísticos.

Resistencia a la roca intacta

Este parámetro bien de finido o dado, por la capacidad de carga donde se obtiene (I_s), para hacer la transformación de kg/cm^2 a MPa se lo realizó la siguiente relación $1 \text{ kg/cm}^2 = 98070 \text{ Pa}$.

Grafico 26: Curva Resistencia a la compresión Uniaxial



Fuente: ASTEC – Integral. (2013). Pruebas de laboratorio.

Donde obtiene dos valores en las cuales se definiría como la más favorable a 70.40 kg/cm² (6,90 MPa) y a 13.10 kg/cm² (1,28 MPa) como la menos de favorable ubicando en puntuación de 12 y 4 respectivamente. Para poder definir cuál puntaje se utilizara in situ nos deberemos considerar al agua subterránea como veremos en postulados siguientes.

Determinación del RQD

Como dice la teoría que el RQD es la relación de las discontinuidades en 1 metro cubico (J_v), representado en porcentaje y viene expresado en lo siguiente:

$$\mathbf{RQD = 115 - 3.3 J_v}$$

En un material aluvial no posee discontinuidades no se puede determinar un valor de RQD, que por lo general en otras ocasiones a falta de este parámetro se considera al macizo como F.C (fuera de clase). Pero en este caso debido a este ambiente especial que sea dado se va a determinar de manera estadística un valor de RQD que será constante durante toda la construcción de la Ventana 2.

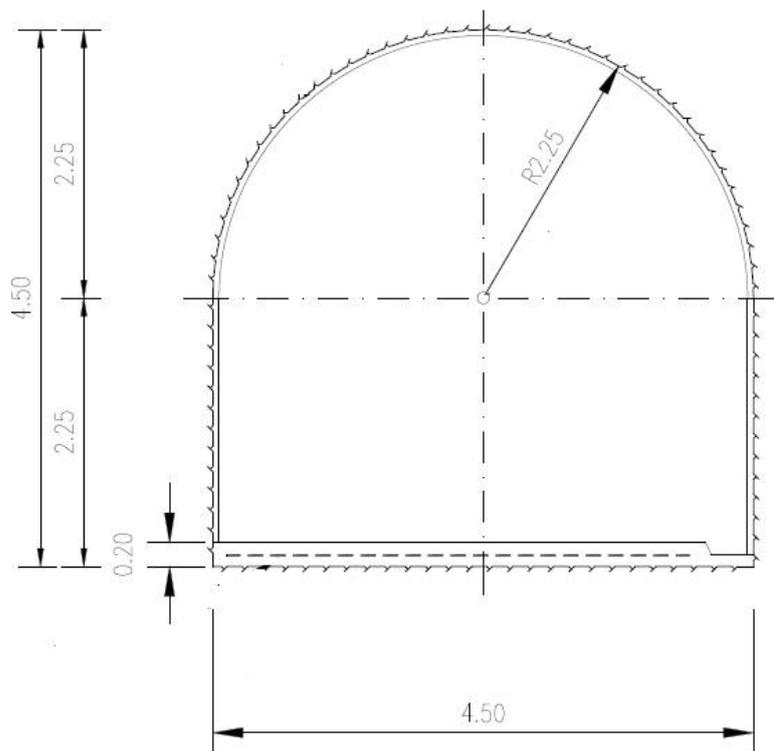
Como primer paso haremos uso de la Teoría de Terzaghi para calcular W

$$\mathbf{W = H \times d \times H_p}$$

Siendo H= altura de sobrecarga desde la superficie, H_p = altura que soporta la carga, W= peso de la carga sobre el túnel y d = peso específico

De los datos in situ de tiene que la altura $H = 420\text{m}$.Peso específico 2,87 g/cm³, este valor se obtuvo en el ensayo de permeabilidad (ver anexo D). Para el valores de H_p viene calculado en función de las dimensiones de la ventana 2 que es de 4.50 x 4.50 metros (Ver Gráfico 26)

Grafico 27: Sección Típica de Ventana 2 PHQ

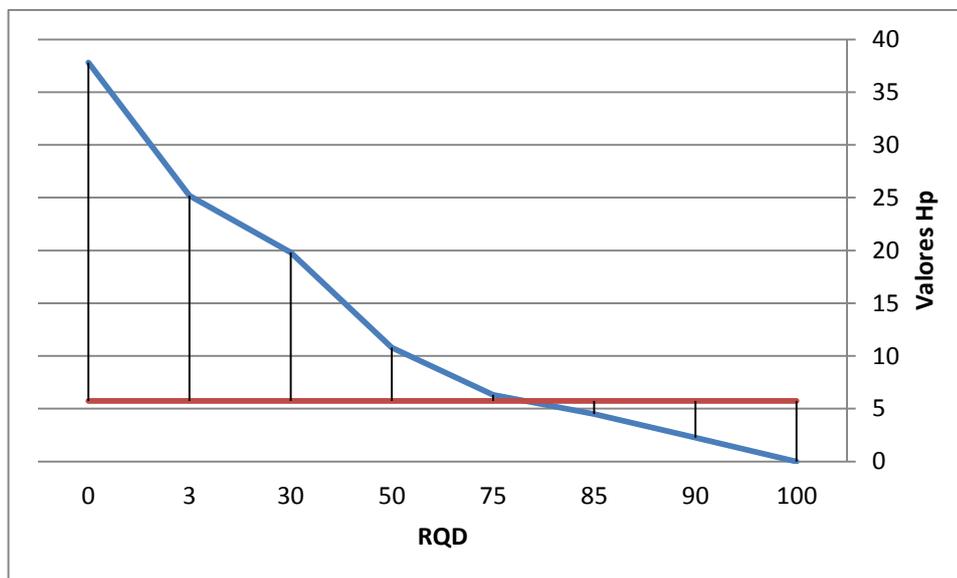


Fuente: Planos de licitación PHQ. (2010).

Como se tiene la referencia de dimensiones del túnel el valor de H_p viene dado por la tabla de clasificación. Se despeja el valor de H_p de la ecuación

Remplazando los datos en la ecuación con el valor de $W = 6,9\text{MPa}$. Dados de valores aproximados de W dado por la capacidad de carga del punto anterior, corroborando los datos de laboratorio.

Dándonos un $H_p = 5.72$, con el cual obtenemos el valor aproximado de **RQD de 78%** como se muestra en la grafico 27.

Gráfico 28: Valores de Hp vs RQD

Elaborado por: Cardoso, C. (2015).

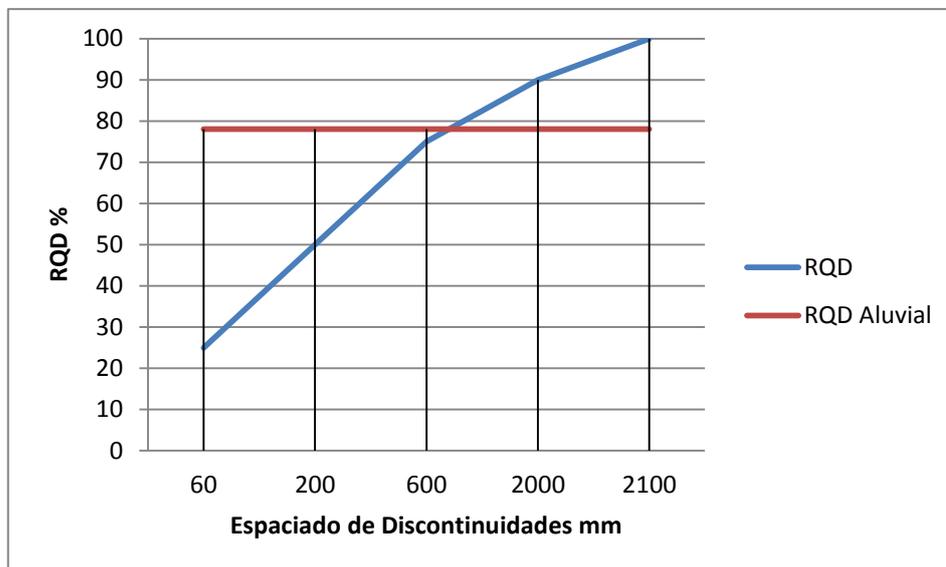
Dándonos un valor aproximado de **78% RQD**.

Espaciado de discontinuidades

Al tratarse de un material aluvial, que carece de estructuras se va plantear un análisis similar al del RQD, tomado como base a la clasificación de Bieniawski ya que como se explicó en el capítulo 5 existe una estrecha relación entre el RQD y el espaciado de discontinuidades, que a mayor RQD en porcentaje el espaciado es mayor entre discontinuidades.

Como se observa en la gráfica el punto en que se intersectan el RQD con el espaciado de discontinuidades con el RQD del aluvial nos da una un valor empírico (teórico) de espaciado de discontinuidades de 700mm.

Grafico 29: Relación de RQD y Espaciado de discontinuidades en la clasificación Geomecánica de Bieniawski.



Elaborado por: Cardoso, C. (2015).

Condición de agua subterránea

Para la determinación de este parámetro se lo debe realizar in situ con la determinación del caudal y su respectivo puntaje según la tabla de Bieniawski. Según pruebas in situ realizadas se terminó un caudal de 15 l/min.

Resultados

Reunidos y evaluados los puntajes concatenados, obtenidos tanto en el laboratorio e in situ considerado los puntajes se tiene un puntajes de RMR aproximados de 66 Y 59, se resume en el cuadro siguiente:

Cuadro 27: Resumen de puntajes RMR para la Ventana 2 PHQ

Parámetro	Puntaje Favorable	Puntaje desfavorable
Resistencia a la compresión Simple	12	4
RQD	13	13
Espaciado de discontinuidades	10	10
Condición de discontinuidades	10	25
Agua subterránea	4	7
Total RMR	66	59

Para el valor de corrección, se tomara según la teoría ya explicada en el capítulo 5 se va a imponer como conservador, el valor de “- cinco”, valor influyente en la mayoría de obras de tunelería a lo que se refiere a conducción. Según **Ing. Fabián Burbano. 2013**. Informe de avance del PHQ Enero 2013.

Dándonos, que para las situaciones más favorables el **RMR es 61** dando un **macizo referencial tipo II**; y, el más desfavorable el **RMR es 54** dando un **macizo referencial tipo III**.

CLASIFICACIÓN BARTON

Para la clasificación según Barton al tener un ya un valor, predeterminado de RMR, se hará una evaluación similar al anterior, considerando que, se realizaría un análisis muy similar, dando los siguientes valores. Al final se realizara una conversión del RMR a Q, para realizar una comprobación donde, relaciona las dos teorías.

RQD

Como ya se tiene un valor de RQD del 78% relacionando la teoría de Terzaghi con la curva de DEERE; el cual nos da un valor equivalente o similar al RQD.

Número de Juntas (J_n)

Representa un valor asignado al número de familias de juntas con su grado de afectación, dado la tabla de clasificación de J_n recomienda **Dr. Barton** que se tome a la masa aluvial como roca fragmentada... **Actualización del uso del método Q. 2012. Norwegian Geotechnical Institute.** Para este caso se toma para $J_n = 20$

Índice de rugosidad de juntas J_r ; alteración y relleno de juntas J_a

La clasificación de Barton nos da múltiples posibilidades en el caso de J_r , se aplicara el puntaje más bajo que sería $J_r = 1,0$ que refiere a zona arenosa y fragmentada con espesor suficiente para impedir el contacto entre paredes.

El índice de alteración y relleno de juntas nos basaremos en el ángulo de fricción interna de los materiales que está en un ángulo de 30° (ver capítulo 4) dando un valor equivalente de $J_a = 4$, que corresponde a partículas arenosas, sin minerales arcillosos y roca descompuesta.

Factor de reducción por agua J_w

Para la caracterización de J_w varios autores recomiendan hacer pruebas in situ, el material aluvial al poseer caudal no ha provocado el colapso de los materiales, gracia a su grado de cohesión que esta entre 320 – 150 KPa y gran capacidad de carga 13.10 – 70.40 Kg/cm². Debido al grado de complejidad de este estudio se sugirió trabajar con un $J_w = 0,66$ según área de Geología de ASTEC – Integral, Ing. Julio Carcelén.

Factor de reducción debido a tensiones en el macizo SFR

Como se enfatizó en la resistencia la corte la relación de esfuerzos expresado en el círculo de Mohr (esfuerzo normal vs esfuerzo cortante) nos da una relación de $SFR = 1$

Resultados

$$Q = \frac{RQD}{J_n} \times \frac{J_r}{J_a} \times \frac{J_w}{SFR}$$

Remplazando los valores, nos da un valor de $Q = 0.644$, para nuestro análisis corresponde un **macizo referencial tipo III**. Ver capítulo 5.

6.3. **Recomendar los tipos de sostenimiento requeridos y definir los rendimientos de avance de excavación.**

Como se ha determinado en los anteriores postulados, al final de todo el análisis tanto en laboratorio, in situ y de oficina, en el **Proyecto Hidroeléctrico Quijos 50 Mw**, con su material como ya lo definimos con algunas propiedades, que hacen que el material aluvial tenga un comportamiento, que sobresale del contexto normal con su alta capacidad de carga, grado de cohesión y su ángulo fricción interna.

Se recomienda el tipo de diseño, el cual no deberá salir de los planos de licitación (ver Anexo 5), para este proyecto, el cual se pretende que no suban los gastos en su construcción, para esto se toma el valor del ESR (Radio de Soporte de Excavación), que se define como un factor de seguridad que para este caso se recomienda 1.6 para túneles de conducción de aguas.

Con la correlación hecha con la clasificación de Bieniawski (RMR) y Barton (Q), los valores de sostenimiento típicos para los diferentes tipos de roca bien predefinido para todas las ventanas de acceso tanto para la ventana 1, ventana 2 y ventana 3. Los contratos establecen que se deberá regir a planos de construcción aprobados.

A continuación se expondrá el sostenimiento para los tres tipos de macizo obtenidos en las diferentes clasificaciones Geomecánicas, además el rango de ESR de diseño:

Clase II: conforme a las especificaciones técnicas contractuales del Proyecto, debe cumplir que para el hormigón lanzado la resistencia mínima (28 días) ≥ 25 MPa; la resistencia de 8 horas ≥ 4 MPa; con un diámetro máximo de agregados $D_{max} = 25$ mm. Anclajes deben ser de acero A42 conforme las normas NTE INEN 102, esfuerzo de fluencia ≥ 420 MPa (42 Kgf/mm²); Resistencia a la tracción ≥ 620 MPa (62 Kgf/mm²); Inyección Lechada de cemento mezcla Agua/Cemento = 0.5; resistencia mínima (24h) > 20 MPa; placas de acero de apoyo de grado ASTN A36.

Clase III: conforme a las especificaciones técnicas contractuales del Proyecto, debe cumplir que para el hormigón lanzado la resistencia mínima (28 días) ≥ 25 MPa, la resistencia de 8 horas ≥ 4 MPa, con un diámetro máximo de agregados $D_{max} = 25$ mm. Anclajes deben ser de acero A42 conforme las normas NTE INEN 102, esfuerzo de fluencia ≥ 420 MPa (42 Kgf/mm²); Resistencia a la tracción ≥ 620 MPa (62 Kgf/mm²), este parámetro de ser necesario se remplaza por solo malla electro soldada grado 60 conforme a la especificación ASTM A185; Inyección Lechada de cemento mezcla Agua/Cemento = 0.5; resistencia mínima (24h) > 20 MPa; placas de acero de apoyo de grado ASTM A36.

VII. CONCLUSIONES.

La caracterización física de la secuencia aluvial presentada en este trabajo, permite demostrar la estrecha relación existente entre sus condiciones de formación y su comportamiento mecánico. El material aluvial recubierto por los diferentes eventos volcánicos columnares, estos materiales tienen propiedades geotécnicas variables, presentando bajas compresibilidad y una alta capacidad de carga. Además, se debe considerar que la masa aluvial se encuentra comúnmente interstratificadas con materiales granulares de diferente diámetro, lo que incrementa la heterogeneidad mecánica del aluvial y grado de compactación evitando desprendimientos. En este estudio se demuestra que una zona catalogada como aluvial dista mucho de presentar secuencias arcillosas y que debido a la evolución de las condiciones del depósito debe ser considerada para una adecuada evaluación para su trabajabilidad.

De acuerdo a la clasificación del Rock Mass Rating – RMR, el cual toma en cuenta el RQD, la resistencia a la compresión simple, el espaciamiento de las discontinuidades, la condición y orientación de las mismas y la condición del agua, del aluvial, pertenece en forma referencial a un macizo de la clase II (Roca Buena) y clase III (Roca Media).

Se pudo establecer una relación empírica Deere, para definir un valor análogo al RQD en función de la capacidad de carga de la teoría de Terzaghi.

Se pudo establecer que el RQD es inversamente proporcional al espaciado de discontinuidades, dando rangos que se pueden utilizar tanto en la clasificación Geomecánica de Bieniawski, y con la teoría de Barton lo que en número de juntas respecta (J_n).

ESR está en función del uso de la labor a realizar, donde se evalúan los esfuerzos normales y esfuerzo cortante del túnel. Dándonos valores para menores de 0.8 como críticos, 0.8 – 1.00 como buenos y de 1.00 – 1.6 como excelentes. Con este análisis se valida los diseños de fortificación que fue calculado para un ESR = 1 contemplado en los diseños de licitación del **Proyecto Hidroeléctrico Quijos**.

Se demuestra que con el análisis de parámetros Geomecánicos y mediciones in situ, se puede establecer una relación entre, ente los dos sistemas de clasificación, partiendo del mismo análisis y valores obtenidos que se resumen en las formulas siguientes:

$$RMR = 9 \log Q + 44$$

$$Q = e^{\frac{RMR-44}{9}}$$

VIII. RECOMENDACIONES.

A este trabajo se realiza las siguientes recomendaciones:

- Profundizar en el estudio del comportamiento de la permeabilidad y capacidad de carga, en este tipo de materiales aluviales de manera integral, ya que solamente el trabajo de tesis logro analizar ciertos sitios de dicho depósito, demostrando que es muy variable en función del avance que se vaya obteniendo en la ventana 2.
- Es recomendable realizar de pruebas de laboratorio, que complementadas con análisis de campo (in situ) pueden explicar de una mejor manera el comportamiento Geomecánico del material aluvial.
- Al utilizar la relación entre I_s (carga puntual) con el RQD, se debe ir realizando ajustes de la curva cada 10 a 15 m de túnel excavado ya que no es recomendable utilizar este valor análogo de RQD, más allá de los 20 m.
- De manera similar se debe ir calibrando el valor de ESR, que como ya se explico es el factor de seguridad de la labor subterránea, varios autores recomiendan este ajuste cada 50 m de túnel efectivo excavado. Así evitar el fenómeno de tubificación.
- Se recomienda relazar la toma del caudal en la mejor área posible, ya que con ese parámetro es fundamental para la clasificación. El uso de caudalímetros es lo ideal para obtener, si un hubiere el equipo se recomiendo el uso de la formula general.

IX. RESUMEN

La presente investigación propone: definir una clasificación Geomecánica que permita determinar el comportamiento geotécnico de la masa aluvial dónde se construirá el túnel de acceso Ventana 2 del Proyecto Hidroeléctrico Quijos 50 Mw; ubicado en la provincia de Napo, cantón Quijos, parroquia Cuyuja. Que consta de dos partes, la primera, investigativa sobre las características Geomecánicas del material aluvial donde se va a construir el Túnel Ventana 2, y la segunda, una propuesta de sostenimiento para la fortificación durante la construcción del Túnel Ventana 2, que servirá como drenaje y acceso para posteriores construcciones inherentes al proyecto. Para la determinación de la fortificación a utilizar, se va realizar de acuerdo a las clasificaciones Geomecánicas de Bieniawski y Barton, que son más utilizadas en nuestro medio, debido a su funcionalidad, fácil determinación in-situ y veracidad en varios proyectos similares. Obteniendo la estrecha relación entre las condiciones de formación y el comportamiento mecánico de la masa aluvial, así explicando altas capacidades de carga, y alto grado de compactación; utilizado las clasificaciones Geomecánicas del RMR e Índice Q, se obtiene la trabajabilidad de la masa aluvial en función de la capacidad de carga, el agua presente la masa aluvial y el contenido de arcilla, sin olvidar el factor de seguridad que se definió como el índice de seguridad para el Proyecto Hidroeléctrico Quijos es igual a uno. Se recomienda realizar un estudio paulatino según se vaya avanzando con la excavación del túnel ya que cada 25 metros se debe realizar nuevos estudios sobre: capacidad de carga, el caudal y el contenido de arcilla, con eso se garantizará la seguridad del equipo, el personal además la vida útil de la excavación.

Por: Christian Cardoso

X. SUMMARY

The present research proposes: to define a Geomechanical classification that allows to determinate the geotechnical behavior of the alluvial mass where the access tunnel will be built Ventana 2 of hydroelectric Project Quijos 50Mw; located in Napo province, Quijos canton, Cuyuja district the same has two parts, the first one is investigative about the geomechanical characteristics of the alluvial material where the Ventana 2 tunnel is going to build and the second one a supporting proposal for the fortification during the construction of tunnel, that will serve like drainage system and access for future constructions inherent to the project. The determination of the fortification will be done according to the geomechanical classification of Bieniawski an Barton, more known in our environment, due to its functionality, easy determination in-situ and veracity in many similar projects. Obtaining the close relationship between the formation conditions and the mechanical behavior of alluvial mass, explaining thus high charge capacity, and high degree of compactation; using the geomechanical classifications of RMR (rock mass rating) an Q index, the workability of alluvial mass is obtained in function of charge capacity, the presence of water, the alluvial mass and the clay content, without forget the safety factor that was defined like safety index for the Hydro-electric project Quijos is equals to one. It is recommended to do a gradual study according to the tunnel excavation because each 25 meters it is suggested to do new studies about; charge capacity, the flow and the clay content, in order to guarantee the equipment safety, the personal and the useful life of the excavation.

XI. BIBLIOGRAFÍA.

- Alva Hurtado, J. E. (1994). *Terzaghi y la mecánica de suelos*. EEUU: WILEY & SONS, INC.
- ASTEC – Integral. (2010). *Estudio de Impacto Ambiental Proyecto Hidroeléctrico Quijos – Baeza*.
- Barton, N. & Grimstad, E. (2000). *El sistema Q para la selección del sostenimiento en el método noruego de excavación de túneles*. Norwegian Geotechnical Institute. Balkema Publisher.44pp
- Battaglia, D. (2014).*Informe Geológico – Geotécnico*. GEORISK.
- Bieniawski, Z. T. (1995). *Engineering Rock Mass Classifications*. New York: Wiley.
- Bristow, C. (1975). *Léxico Estratigráfico del Ecuador*. Paris: CNRS. ISBN: 2222019273.
- Custodio y Llamas. (1996). *Hidrología Subterránea*. Barcelona: Omega
- Duque, Pablo. (2000). *Breve léxico estratigráfico del Ecuador*. Quito: PRODEMINCA.
- F.E.J. (2010). *Análisis mecánico del suelo*. Recuperado de: <http://mecanicadelossuelos.blogspot.com/> . Consultado el 20 enero 2015
- F.E.J. (2010). *Limite Líquido*. Recuperado de: http://mecanicadelossuelos.blogspot.com/p/limite-liquido_05.html . Consultado 26 febrero 2015.
- F.E.J. (2010). *Limite Plástico*. Recuperado de: <http://mecanicadelossuelos.blogspot.com/p/limite-plastico.html> . Consultado el 25 febrero 2105.
- Gavilanes, H. & Andrade, B. (2004). *Introducción a la Ingeniería de Túneles*. Quito – Ecuador: AIME.
- Gonzales de Vallejo, L., Ferrer, M., Ortuño, L. & Oteo, C. (2004). *Ingeniería Geológica*. Madrid – España. Código: 28042.
- Hook, E. D. & Brown, E. T. (1985). *Excavaciones subterráneas en roca*. México: MCGRAW-HILL / INTERAMERICANA DE MEXICO. ISBN: 9789684516977

- Jaeger, J. C., Cook, N. & G. Zimmerman, R.W. (2007). *Fundamentals of Rock Mechanics. 4a. Edición.* USA : Blackwell Publishing
- Magurran, A. (1987). *Diversidad Ecológica y su medición.* Murcia-España: Vedral. 179pp.
- Neil, L. (1999). *Catalogue of the Vascular plants of Ecuador.* Monogr. Syst. Bot. Missouri Bot. Gard. 75
- Novitzky, A. (1975). *Métodos de explotación subterránea y planificación de minas.* Buenos Aires - Argentina.
- Organización FAO. (1999). *Permeabilidad del suelo. Recuperado de: ftp://ftp.fao.org/fi/CDrom/FAO_Training/FAO_Training/General/x6706s/x6706s09.htm* . Consultado el: 20 enero 2015.
- Pariseau, W. (2008). *Design Analysis in Rock Mechanics Solutions Manual.* University of UTAH, Salt Lake, UTAH, USA.
- Sauer, W. (1965). *Geología del Ecuador.* Quito – Ecuador: Ministerio de Educación. 383pp.
- Singh, B. y Goel, R. K. (1999). *Rock Mass Clasification.* USA: ELSEIVER. FirstEdition. ISBN:0080430139
- Sierra, R. (1999). *Propuesta Preliminar de un sistema de clasificación de vegetación para el Ecuador Continental.* Quito - Ecuador. Proyecto INEFAN/GEF-BIRF y EcoCiencia. 174pp.
- Karl, T. (1945). *Mecánica teórica de los suelos.* 4a edición. Buenos Aires: ACME AGENCY, Soc. Resp. LTDA

ANEXOS.

Anexo A

Glosario de términos

A

Absorción: Penetración de un gas o líquido entre las partículas de un cuerpo sólido

Afloramiento: Porción de un yacimiento mineral que aparece sobre la superficie de la tierra

Aluvial: Son suelos de origen fluvial, poco evolucionados aunque profundos. Aparecen en las vegas de los principales ríos.

B

Banco aluvial: Acumulación inestable de material de gravas, cantos o arenas en el lecho menor de un río y transportado por éste como carga de fondo

C

Complejo Volcánico: Sitio geográfico en el cual ha habido actividad volcánica recurrente en el tiempo y en el espacio y que se caracteriza por la presencia de rocas volcánicas extrusivas, explosivas e intrusiones relacionadas.

Canon: Prestación pecuniaria periódica que grava una licencia y otorgamiento de derechos mineros o un disfrute en el dominio público, regulado en minería según el área otorgada, sean estas explotadas o no

Coordenadas UTM: Coordenadas Planas Universales y Transversas de Mercator

E

Eluviión: Conjunto de fragmentos de rocas que permanecen in situ después de su desagregación por los agentes atmosféricos.

Eólico: Relativo al viento

G

Grava: Materiales sueltos de tamaños variables formados por partículas cuyo diámetro es superior a los dos milímetros.

H

Hastial: Cada una de las superficies o planos rocosos que limitan un filón con el borde de las rocas encajantes.

Horizonte: Es una interface indicativa de una posición particular en la secuencia estratigráfica.

L

Laboreo: Galería que se aparta de la principal y de donde se extrae el carbón. Trabajo minero

R

Reptación: Movimiento en masa descendente y lento de partícula a partícula que se da en pendientes suaves

Roca Competente: Roca que, debido a sus características físicas y geológicas, puede sostener aperturas, como túneles o galerías, sin ningún soporte estructural excepto paredes, pilares y respaldos dejados durante la explotación

Rocas Volcánicas: Rocas ígneas que se forman a partir de la consolidación de material del magma que fluyó hacia la superficie terrestre (lava) o fue lanzado violentamente (de forma explosiva) desde un volcán (piroclastos, como, por ejemplo, ceniza).

Rumbo: Ángulo horizontal medido con respecto al norte magnético, de la línea de intersección de un plano estructural con un plano horizontal.

S

Sedimentación: Proceso por medio del cual se depositan los sedimentos.

Sondeo: Operación que se efectúa con el fin de perforar el suelo, mediante la apertura de orificios de diámetro pequeño para la exploración de minerales y petróleo

T

Tubificación: fenómeno relacionado a la formación de micro tubos atrás de fortificación metálica, por falta de confinamiento.

Talud: inclinación de la topografía, natural o artificial, cuya pendiente es generalmente más suave que la de los acantilados

V

Veta o Filón: Estrato rocoso que contiene materias económicamente valiosos.

Voladura: El proceso de romper la roca en minas subterráneas o de superficie con cargas explosivas para facilitar el transporte a un molino para su procesamiento posterior

Anexo B

Proceso de destape para llegar a solera del túnel ventana N° 2, Inicio de construcción



Fotografía No. 1 Basaltos columnares en el frontón de la ventana N° 2



Fotografía No. 2 Proceso de excavación en la conformación del portal de la ventana N° 2



Fotografía No. 3 Conformación del portal en la ventana N° 2. Excavación en material aluvial.



Fotografía No. 4 Afloramiento de basaltos columnares bajo el material aluvial excavado al pie del talud vertical



Fotografía No. 5 Material escoraceo y niveles de lava masiva excavados en el portal de la ventana 2.



Fotografía No. 6 Conformación de taludes durante la excavación del portal en la ventana N° 2.



Fotografía No. 7 Excavación en materiales coluviales altamente alterados previo la conformación de taludes en el portal de la ventana N° 2.



Fotografía No. 8 Durante la conformación de los taludes y solera de portal para ventana N° 2



Fotografía No. 9 Terminado de solera de ingreso a ventana N° 2



Fotografía No. 10 Portal de la ventana N° 2. Se observa taludes verticales y la secuencia de estratos de materiales volcánicos entre escorias, lavas masivas y basaltos columnares.



Fotografía No. 11 Inicio de excavación en ventana2



Fotografía No. 12 Se realiza de forma manual la forma del contorno



Fotografía No. 13: Se instala la primera fortificación Metálica. Se continúa con trabajos mixtos entre perforación y voladura con contorneo manual.



Fotografía No. 14. Continúa los 15 primeros metros con sostenimiento metálico, además se construirá un túnel falso, todo esto para garantizar la entrada.



Fotografía No. 15. Trabajos de perforación y voladura en material aluvial de buena calidad.



Fotografía No. 16. Vista actual del túnel donde se nota la implementación de ventilación y ya construido el túnel falso.

ANEXO C
REGISTRO GEOTÉCNICO DEL SONDEO SCHE -1

Litología

De 0.00 a 5.00 metros: Escoria Basáltica, roca de tonalidad gris altamente meteorizada, contiene minerales como plagioclasas, se presenta fragmentada y fracturada, dichas fracturas tienen ángulos entre 50 y 60 grados con respecto al eje del sondeo y la calidad de la roca es muy baja.

De 5.00 a 40.15 metros: Andesita Basáltica, roca de color gris, presenta porosidad, los principales minerales son plagioclasas, anfíboles, con un intenso fracturamiento cuyos ángulos van entre 30 y 60 grados.

De 40.15 a 50.00 metros: Escoria Basáltica, roca de color gris porosa con presencia de óxidos, completamente meteorizada con evidencia de plagioclasas y anfíboles.

De 50.00 a 56.00 metros: Andesita Basáltica mantiene el color gris, presenta porosidad, los minerales principales son plagioclasas, anfíboles con pirita esporádica posee un fracturamiento intenso, cuyos ángulos van entre 30 y 45 grados presentando oxidaciones en las paredes de las fracturas.

De 56.00 a 92.00 metros: Escoria Basáltica: con intercalación de andesitas basálticas de color gris con alta porosidad, presenta fracturas con ángulos entre 30 y 45 grados, presenta óxidos de hierro en las paredes de las fracturas.

De 92.00 a 112.00 metros: Andesita Basáltica con intercalaciones de escoria basáltica de color gris, los minerales principales son plagioclasas, anfíboles y pirita esporádica, presenta ángulos de fracturamiento entre 40 y 50 grados, es muy notable la presencia de óxidos de hierro en las paredes de las fracturas.

De 112.00 a 116.00 metros: Escoria Basáltica de color gris, porosa, presenta minerales como plagioclasas y anfíboles además de minerales arcillosos producto de la meteorización y un intenso fracturamiento evidenciado por ángulos de 30 y 40 grados con respecto al eje del sondeo. En este tramo la recuperación es baja debido al fracturamiento y la fuerte meteorización dando roca de mala calidad.

De 116.00 a 118.00 metros: Andesita Basáltica de color gris altamente meteorizada con presencia de minerales arcillosos, además se encuentra completamente fracturada con ángulos de 20 a 40 grados respecto al eje del túnel con óxidos en las paredes de las fracturas.

De 118.00 a 148.40 metros: Escoria Basáltica con intercalación de Andesita Basáltica de color gris presenta un intenso fracturamiento y fuerte meteorización, los minerales principales son plagioclasas y anfíboles y minerales arcillosos, esta zona muy fracturada con ángulos de 40 y 50 grados con rellenos de óxidos y arcilla.

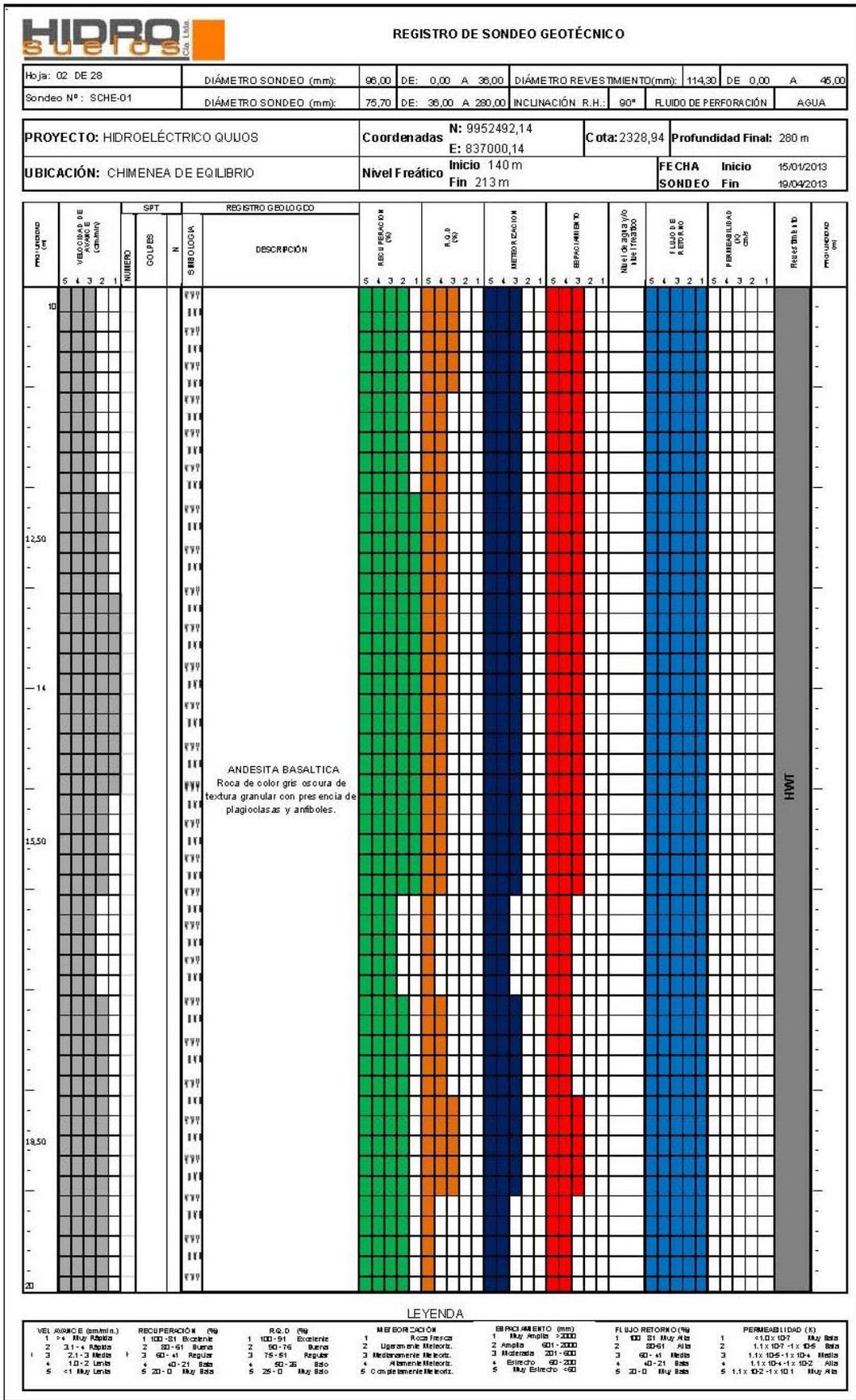
De 148.40 a 221.00 metros: Esquisto Micáceo de color gris, grafitoso presenta planos de foliación con brillo debido a la presencia de micas como Biotita, Moscovita y Cerecita, la roca se encuentra muy meteorizada

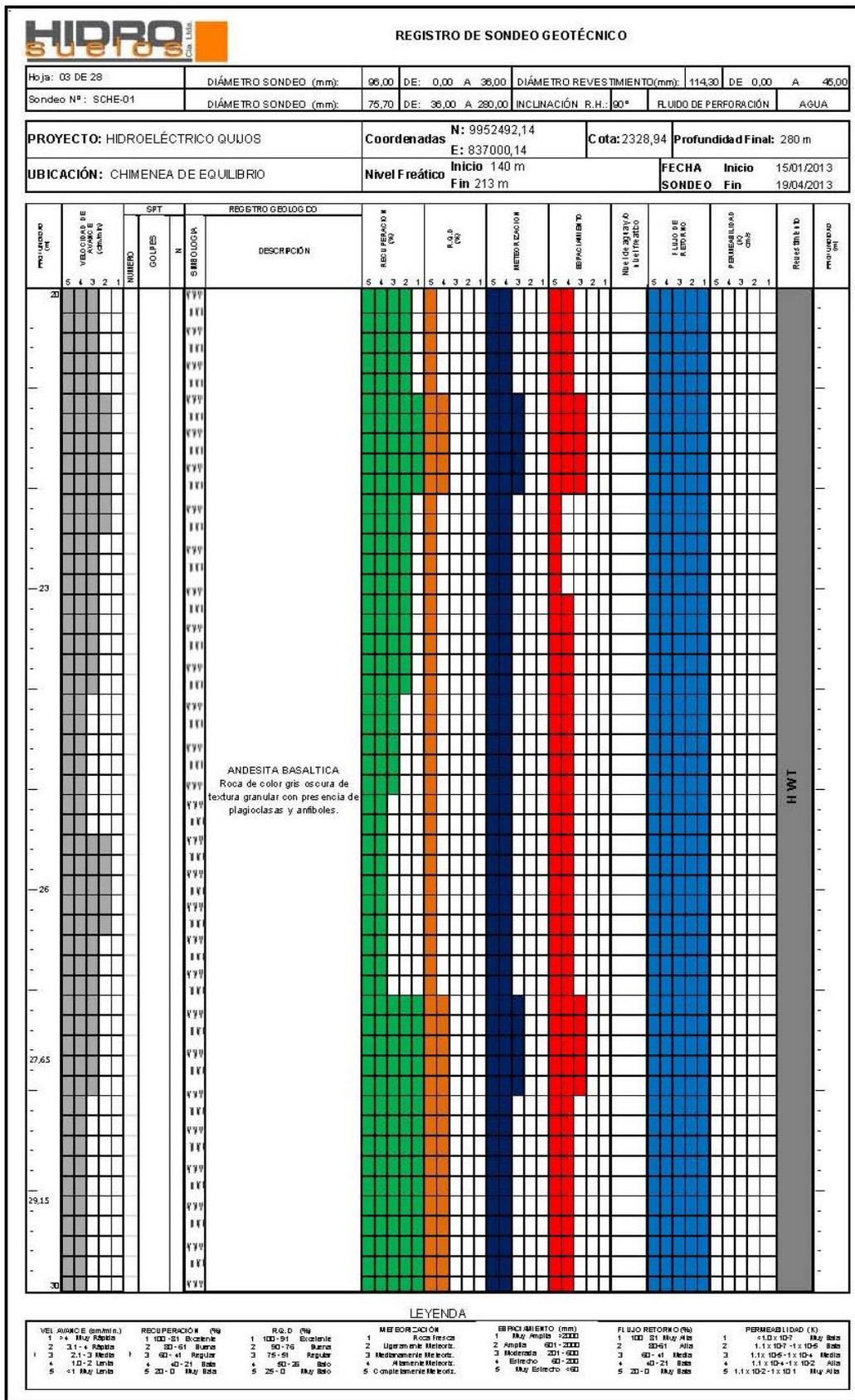
De 221.00 a 243.20 metros: Esquisto Micáceo se presenta de medianamente a ligeramente meteorizada y se evidencia micas como Biotita, Moscovita y Cerecita, el fracturamiento posee entre 30 y 40 grados con respecto al eje del sondeo

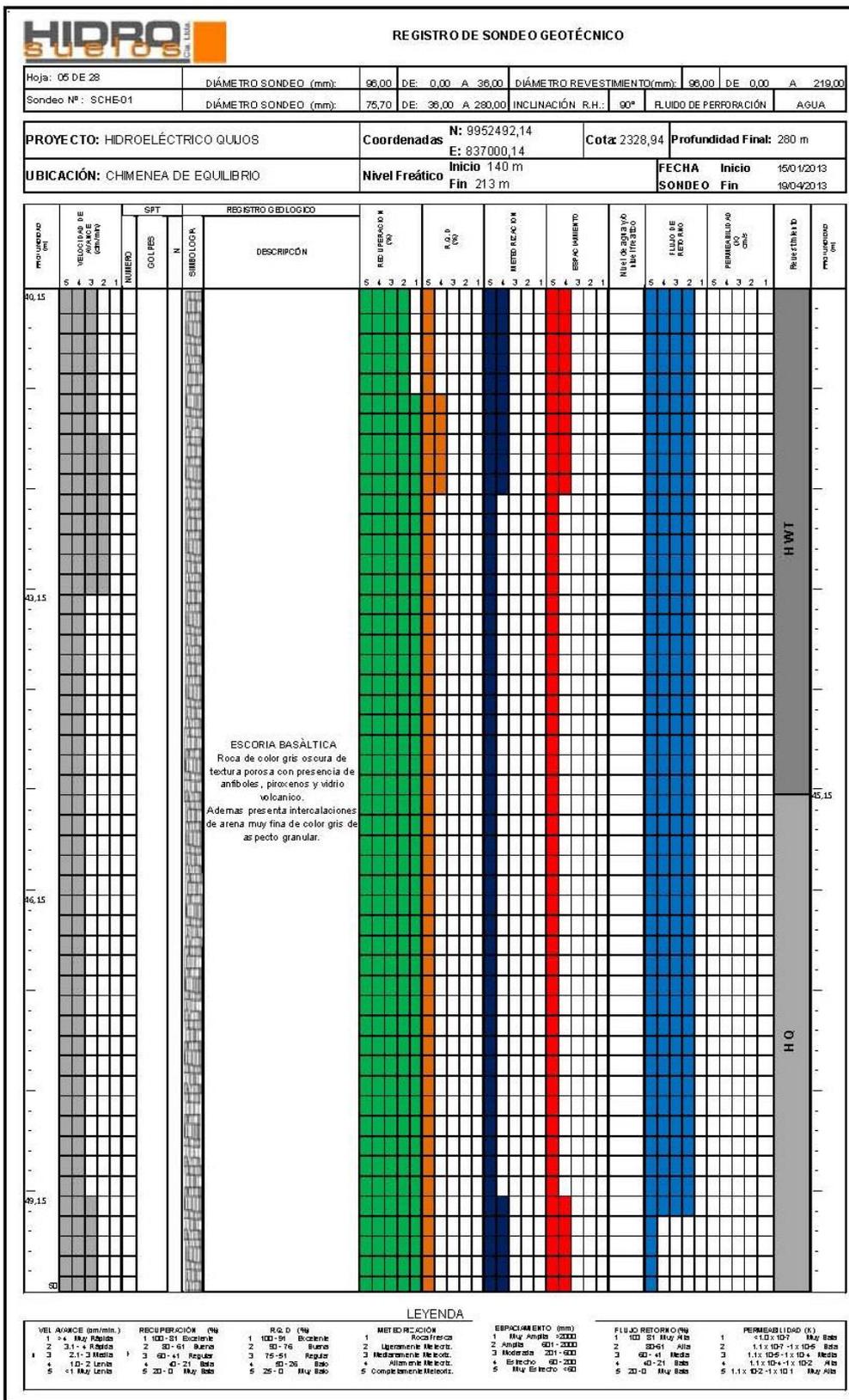
De 243.20 a 276 metros: Se encuentra roca muy fresca del Esquisto Micáceo la cual presenta auges de cuarzo y carbonatos como calcita.

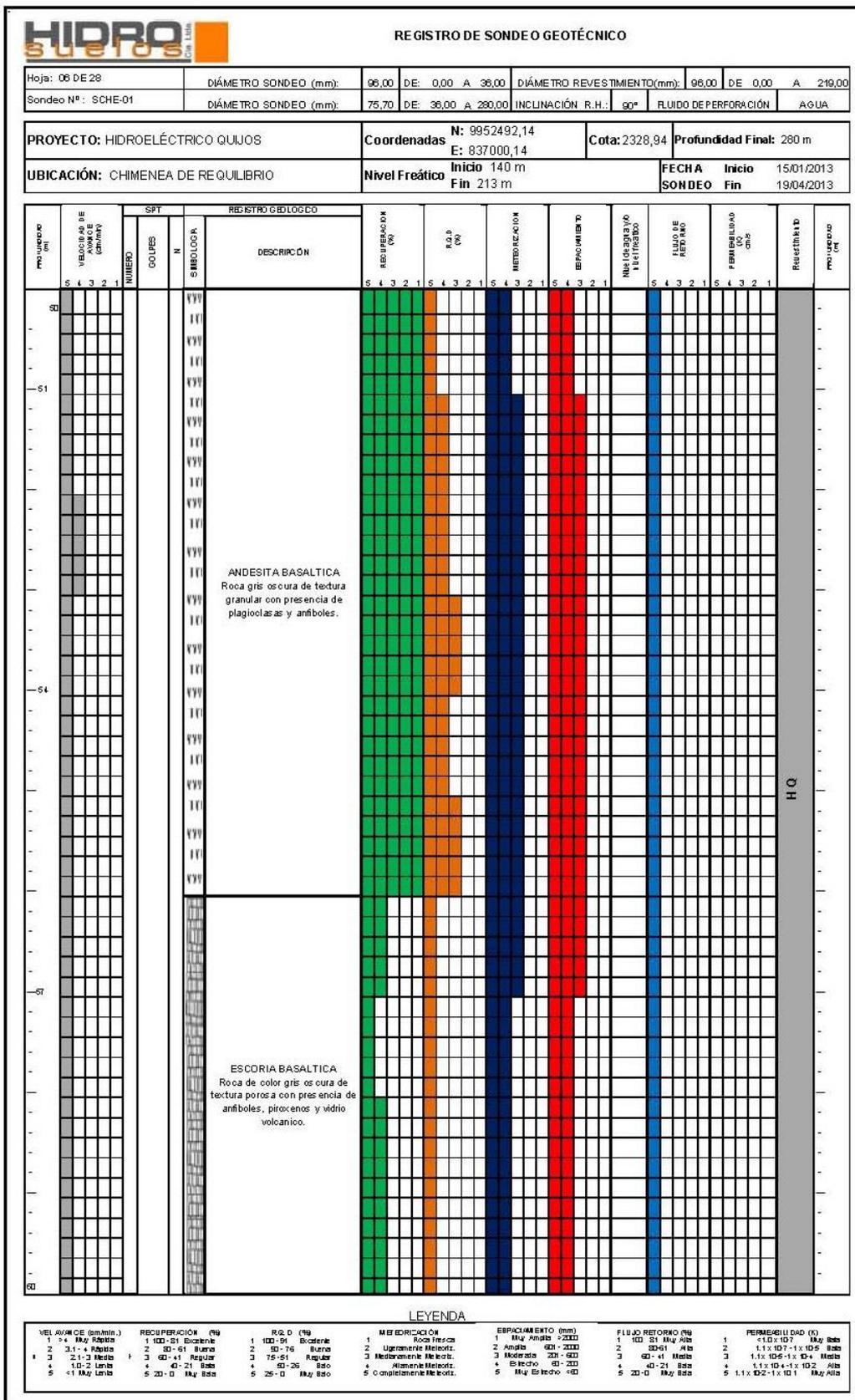
De 276 a 280 metros: masa aluvial bien clasificada con clastos de diferente composición, redondeados a sub redondeados

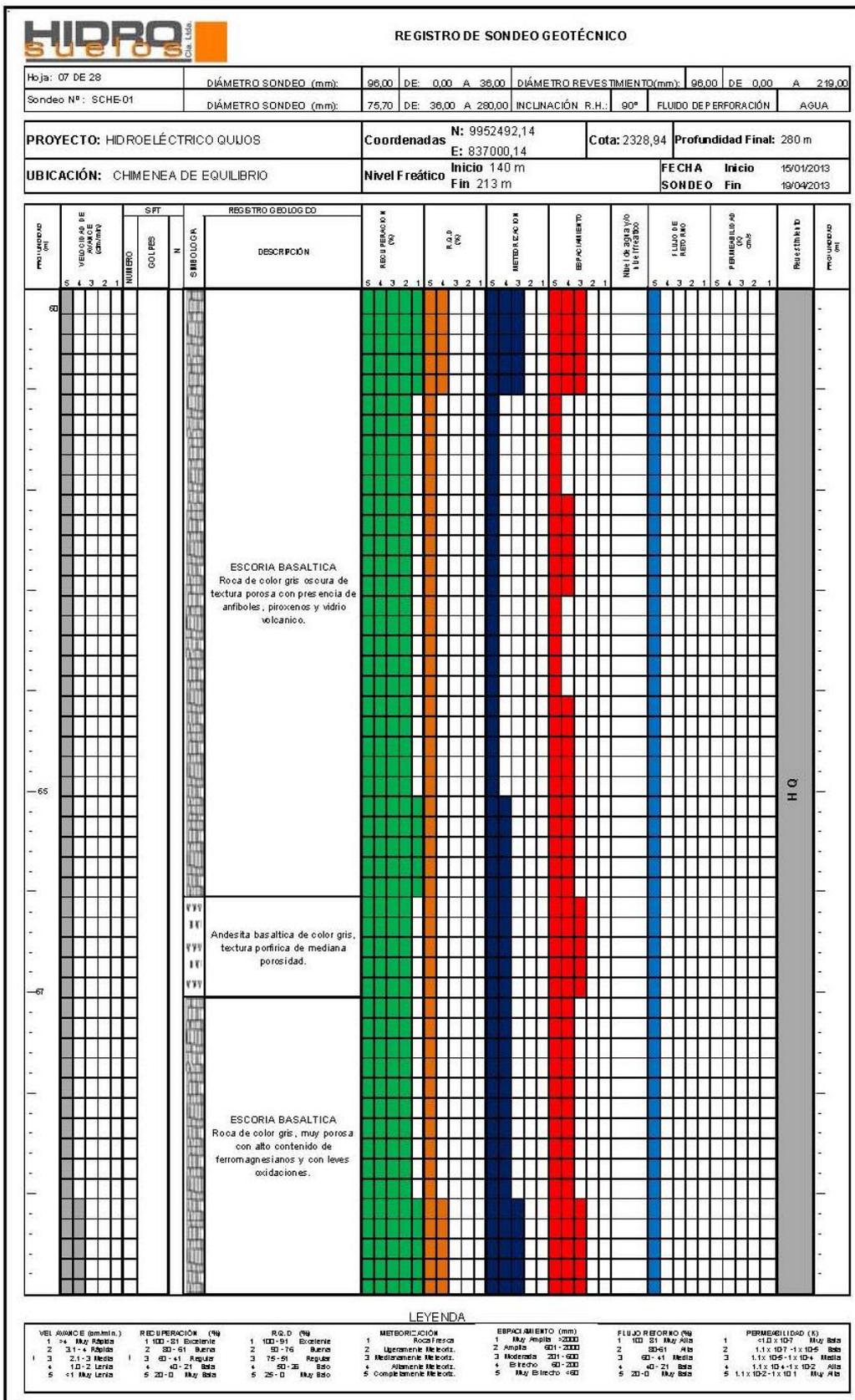
HOJAS DE REGISTRO (Fuente: HidroSuelos diciembre 2012)

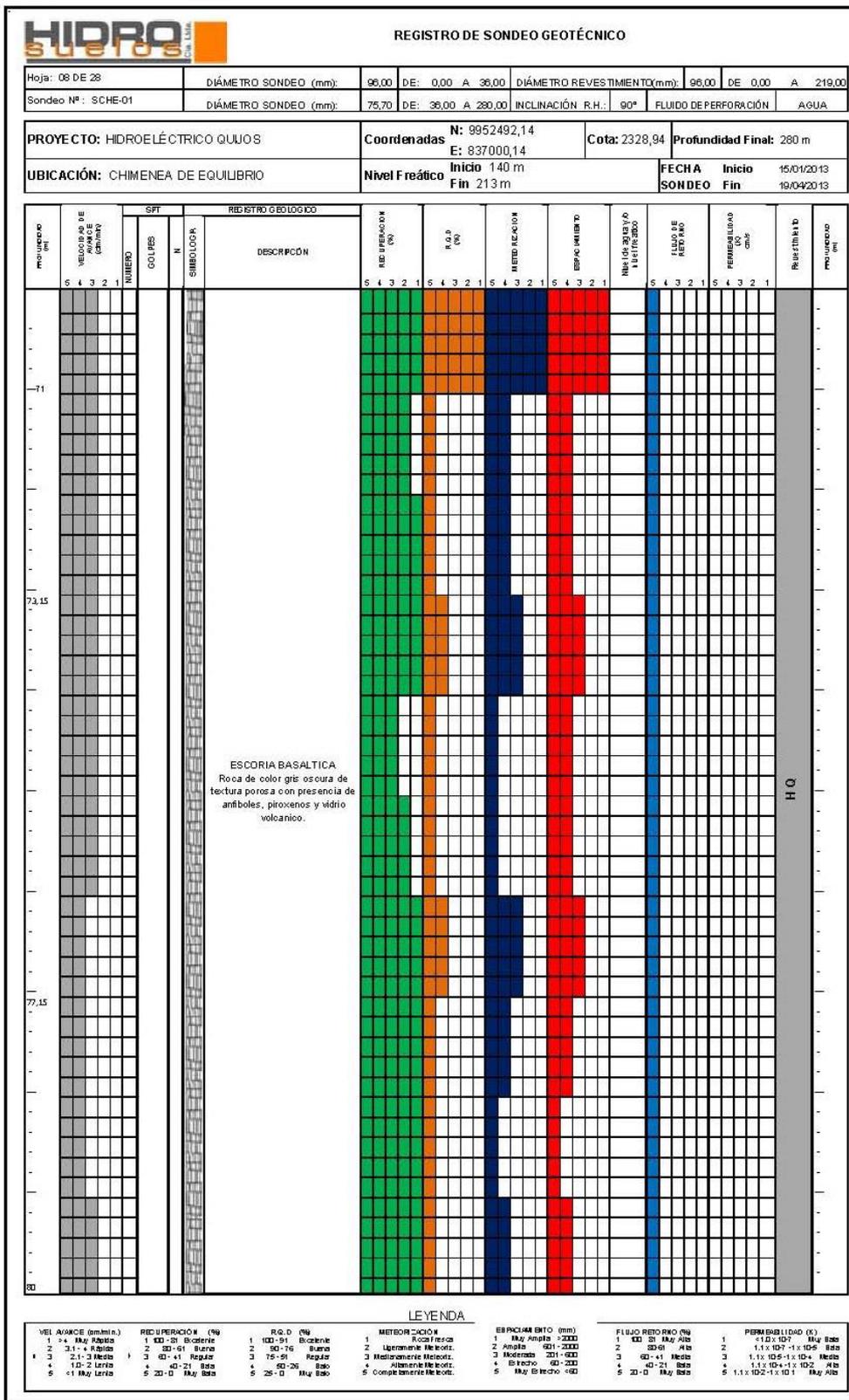


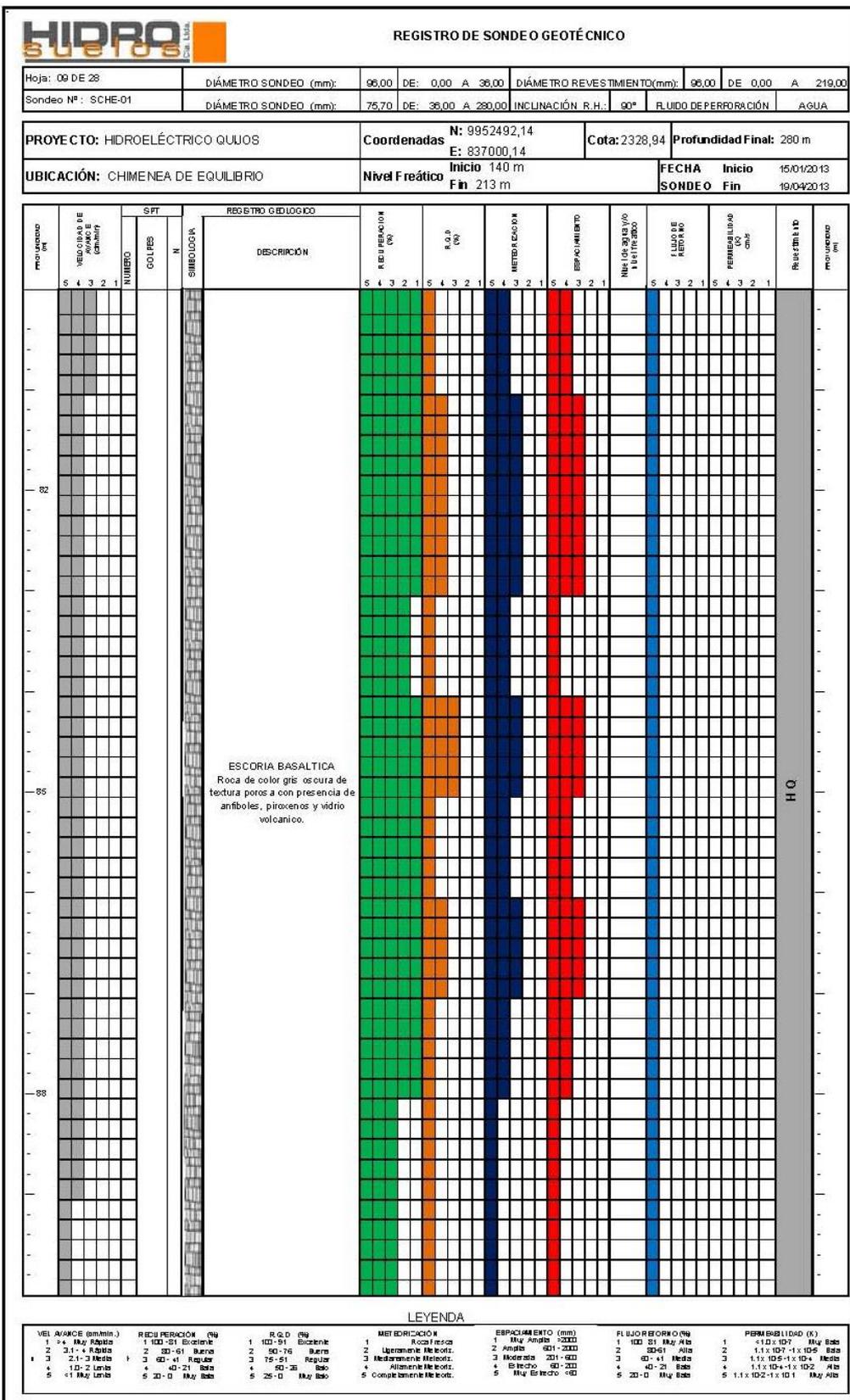


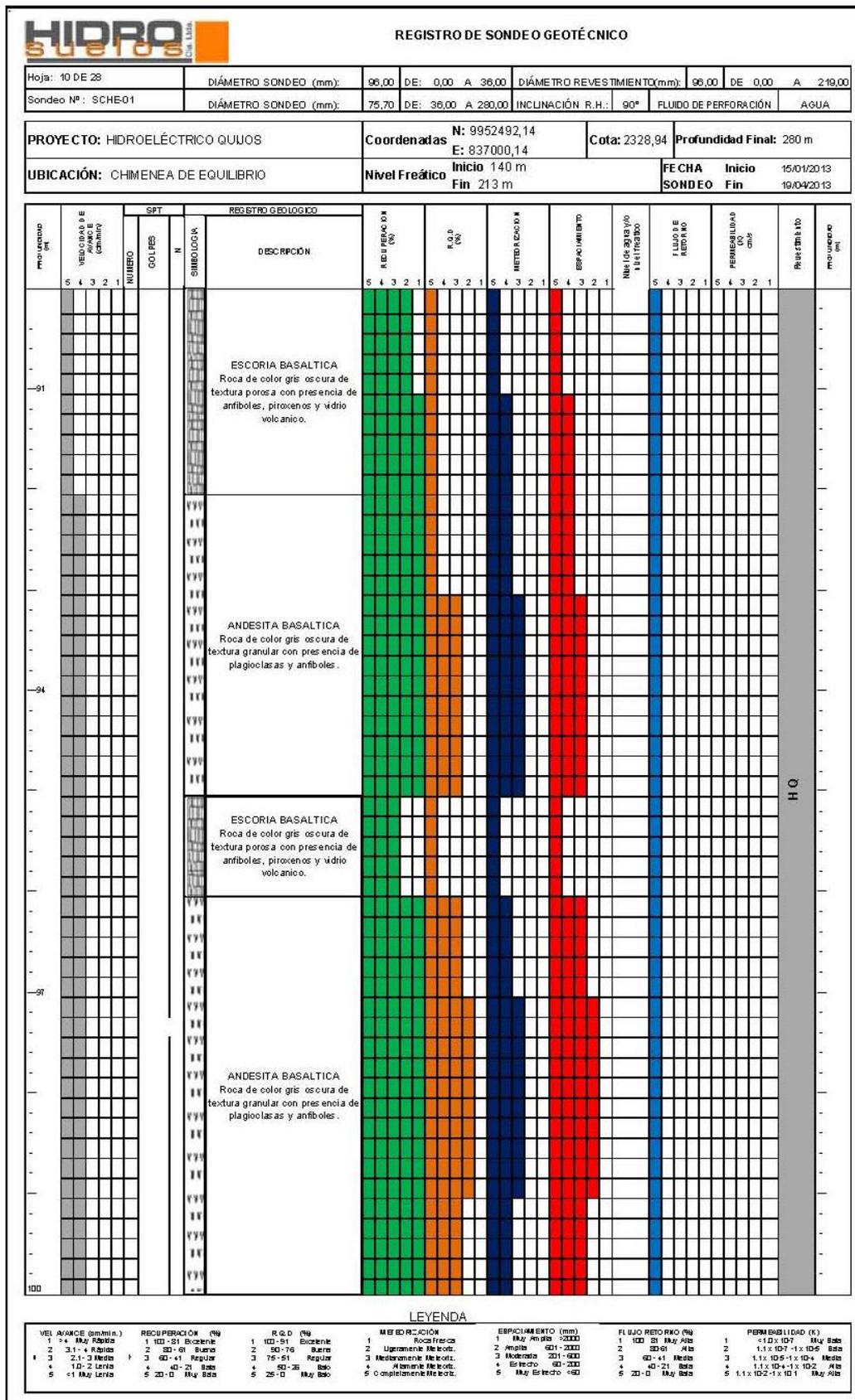


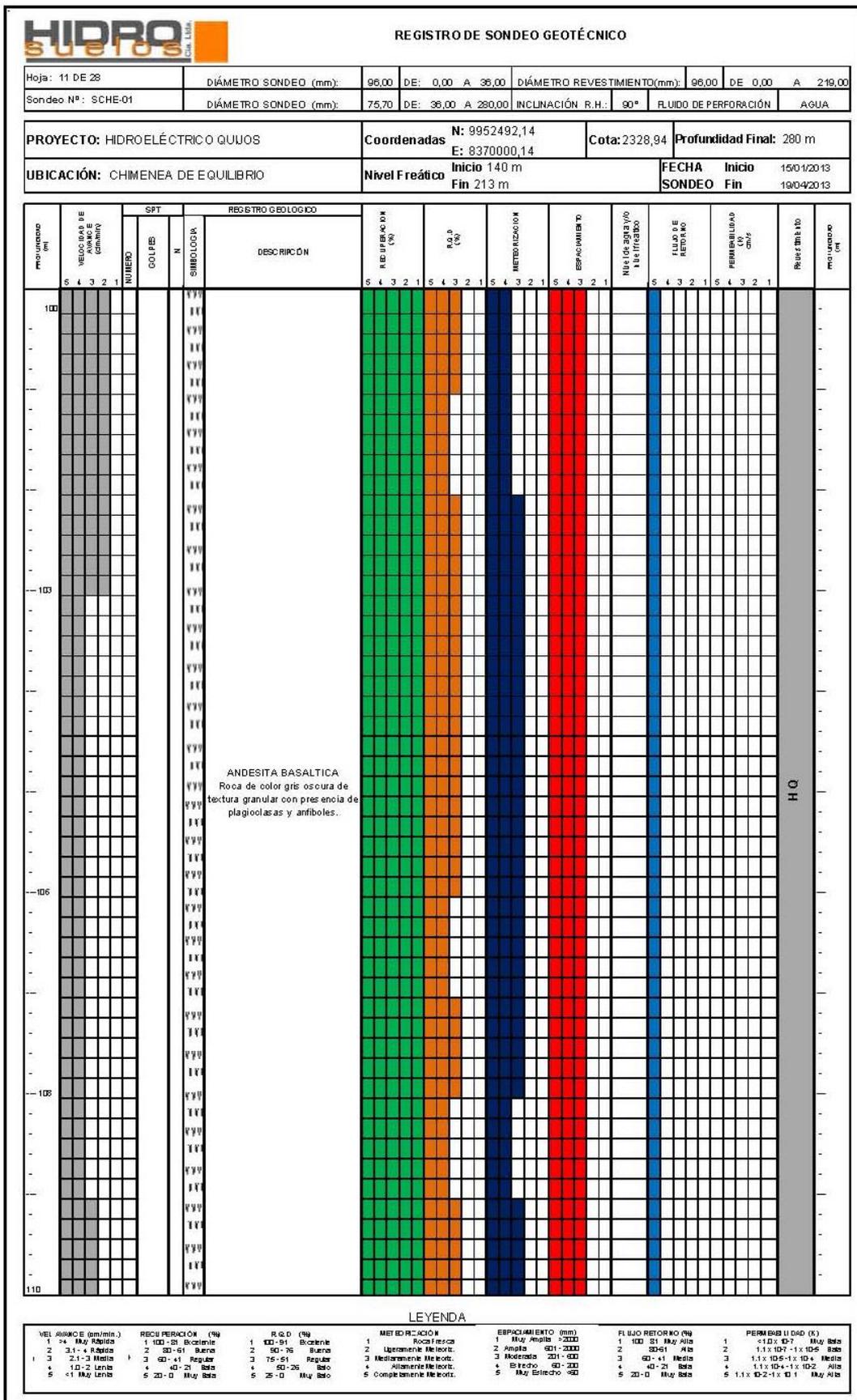


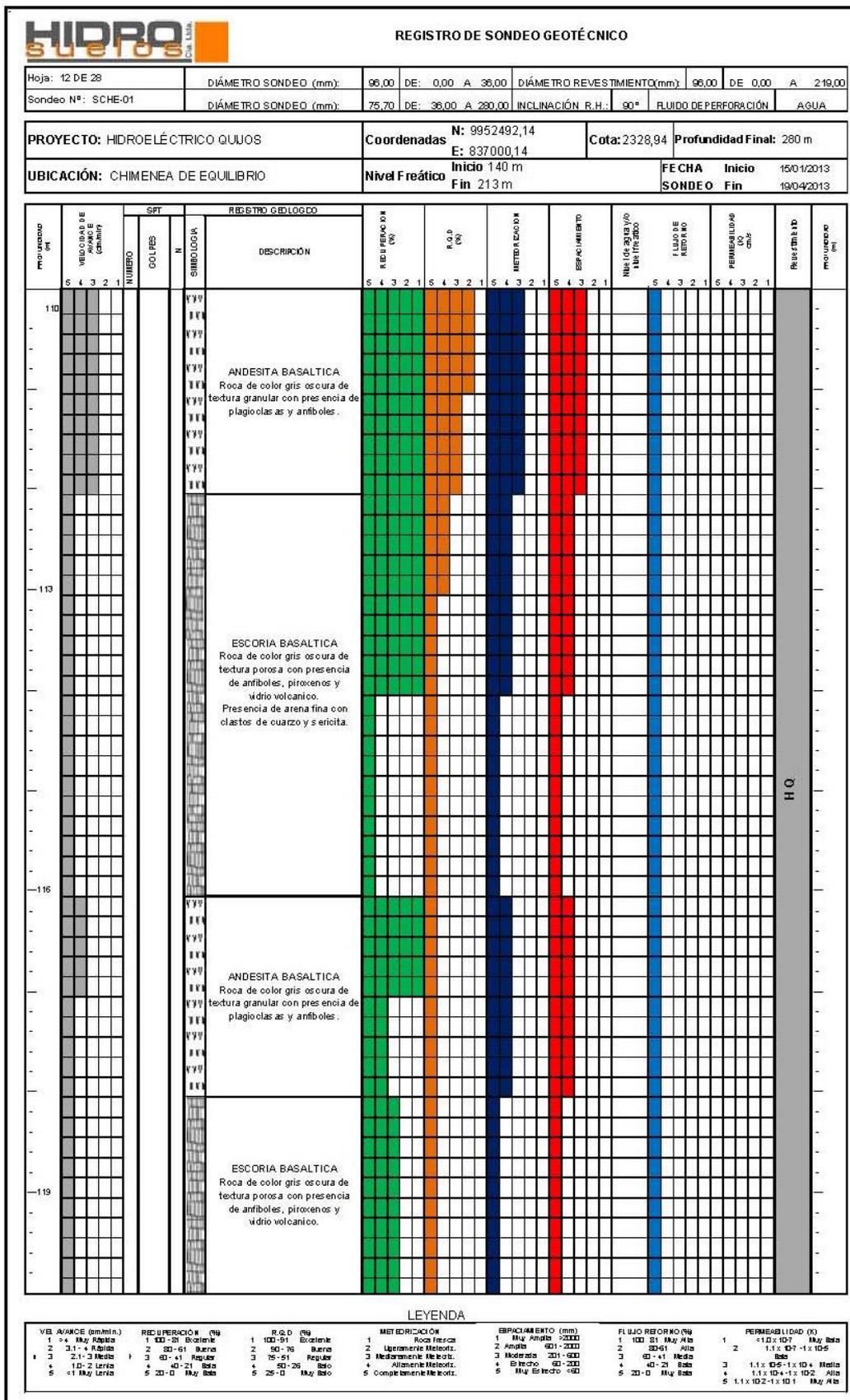


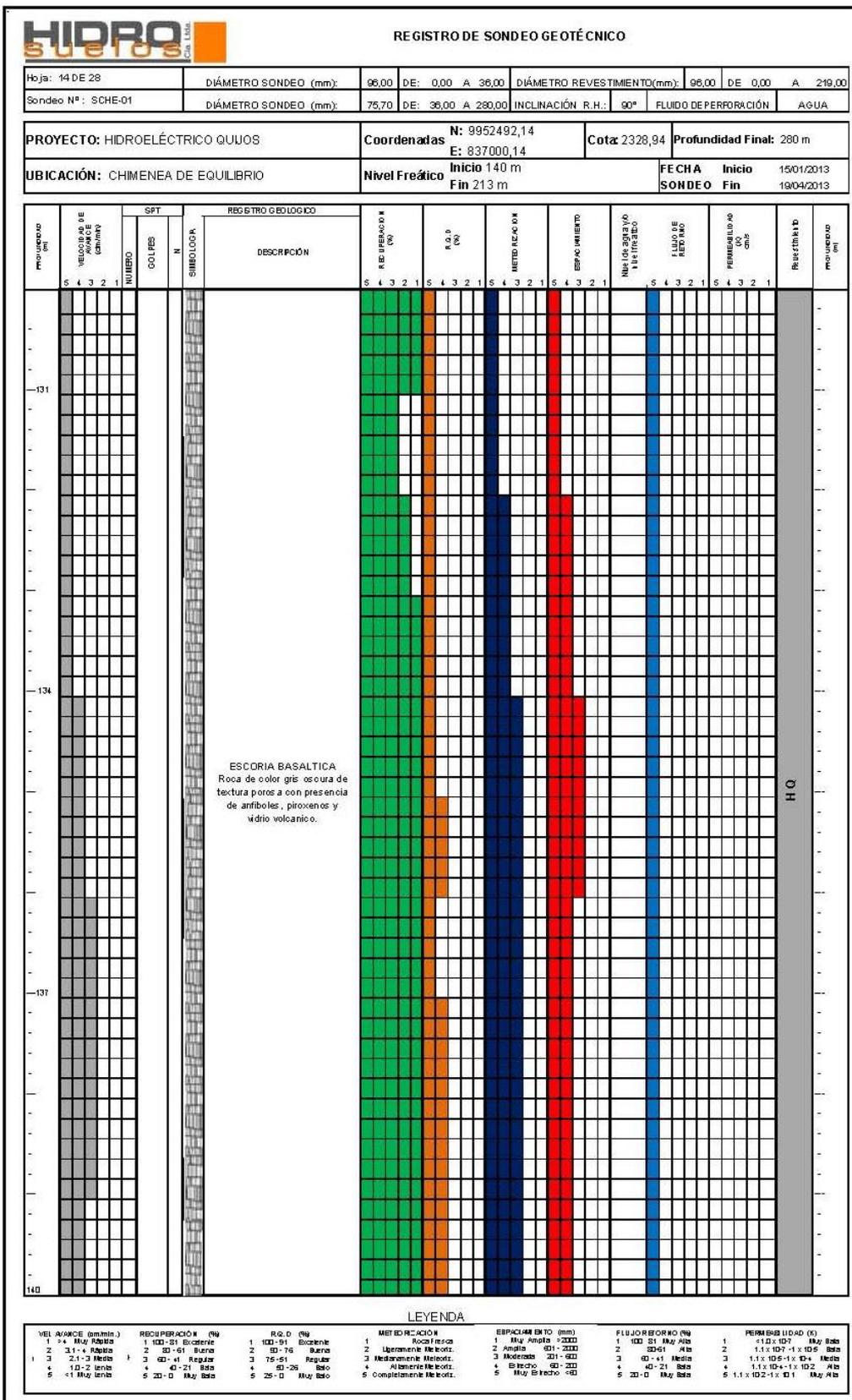










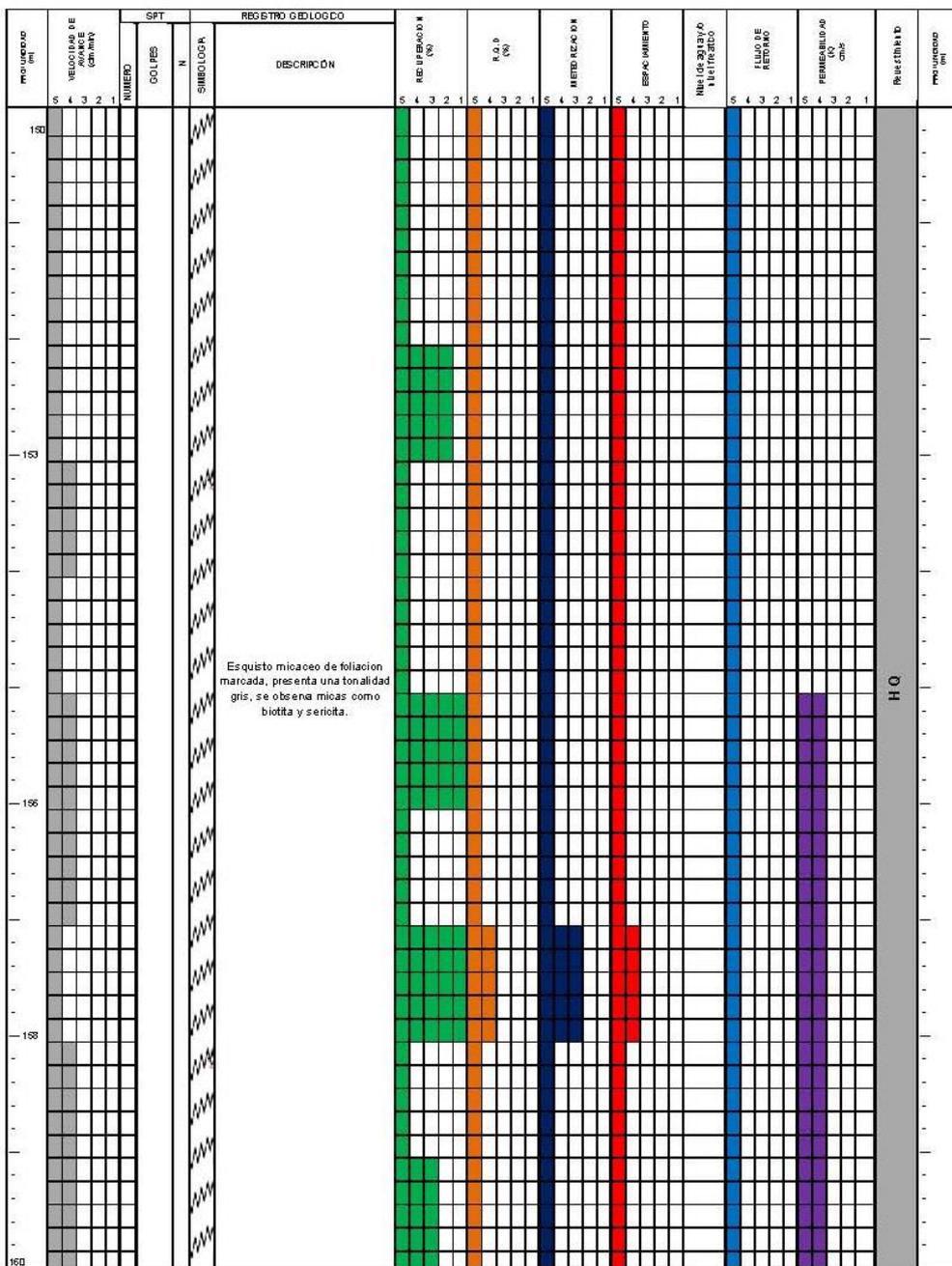




REGISTRO DE SONDEO GEOTÉCNICO

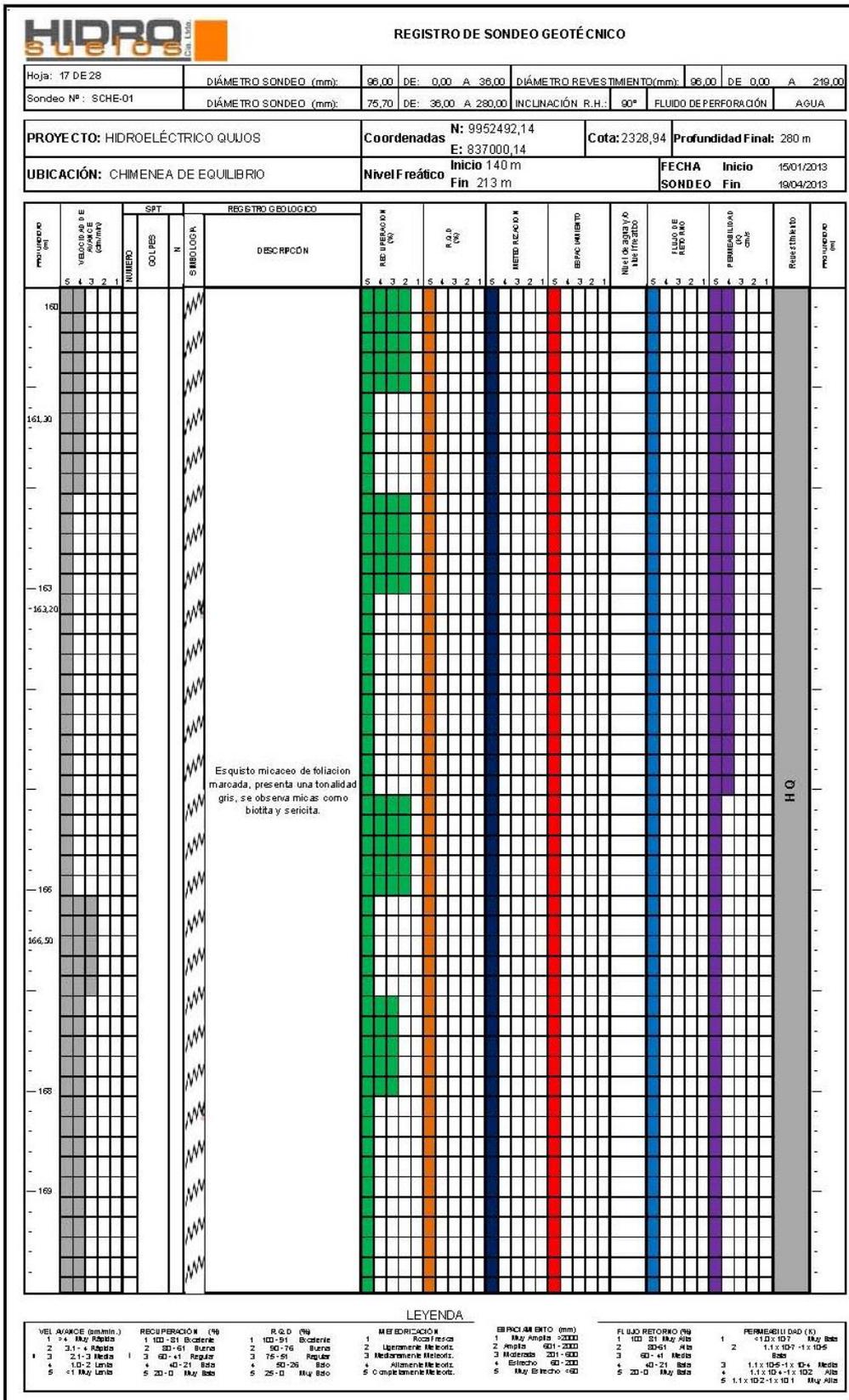
Hoja: 16 DE 28	DIÁMETRO SONDEO (mm): 98,00	DE: 0,00 A 36,00	DIÁMETRO REVESTIMIENTO(mm): 98,00	DE 0,00 A 219,00
Sondeo Nº: SCHE-01	DIÁMETRO SONDEO (mm): 75,70	DE: 36,00 A 280,00	INCLINACIÓN R.H.: 90°	FLUIDO DE PERFORACIÓN: AGUA

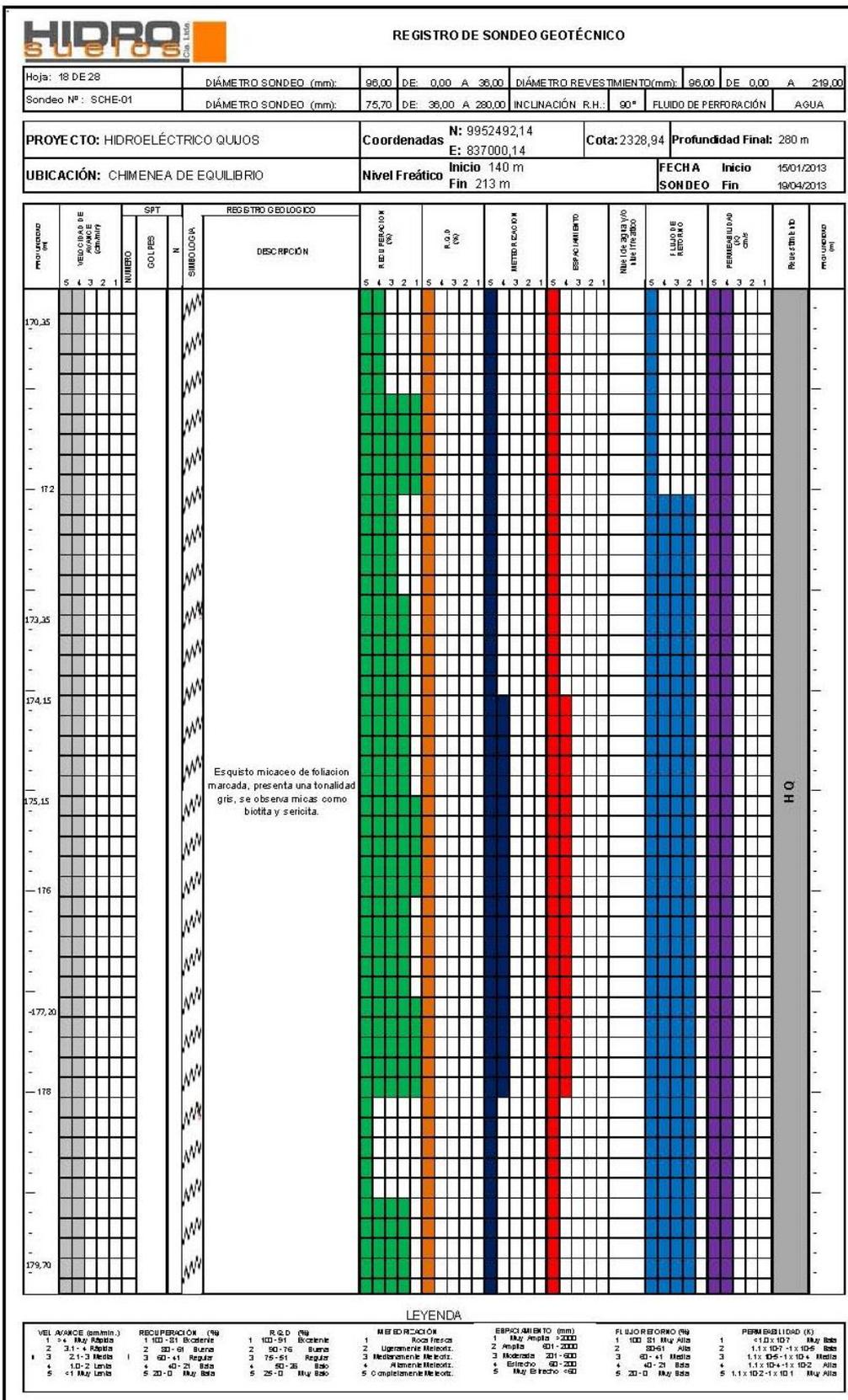
PROYECTO: HIDROELÉCTRICO QUUJOS	Coordenadas N: 9952492,14 E: 837000,14	Cota: 2328,94	Profundidad Final: 280 m
UBICACIÓN: CHIMENEA DE EQUILIBRIO	Nivel Freático Inicio 140 m Fin 213 m	FECHA Inicio 15/01/2013 SONDEO Fin 19/04/2013	

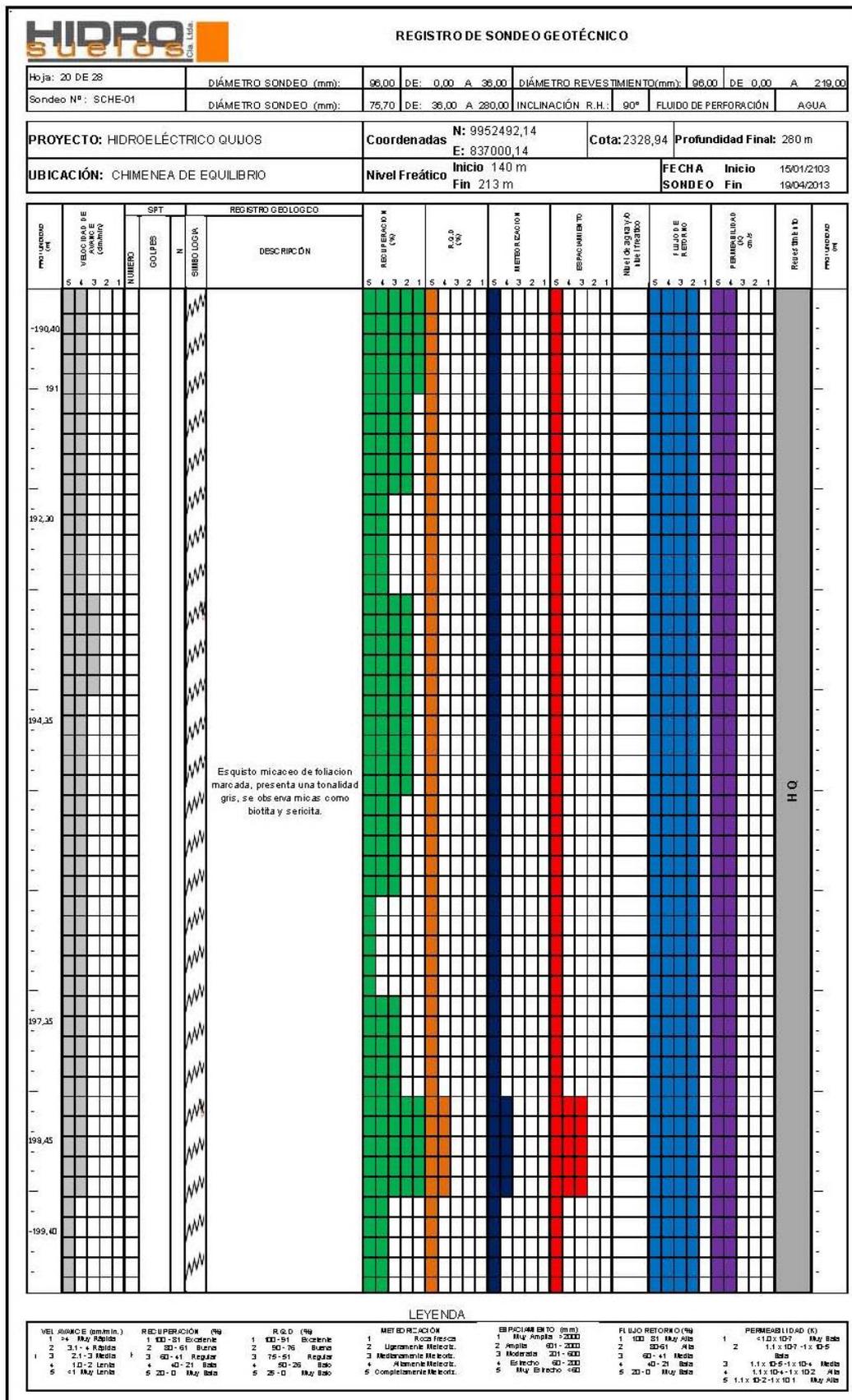


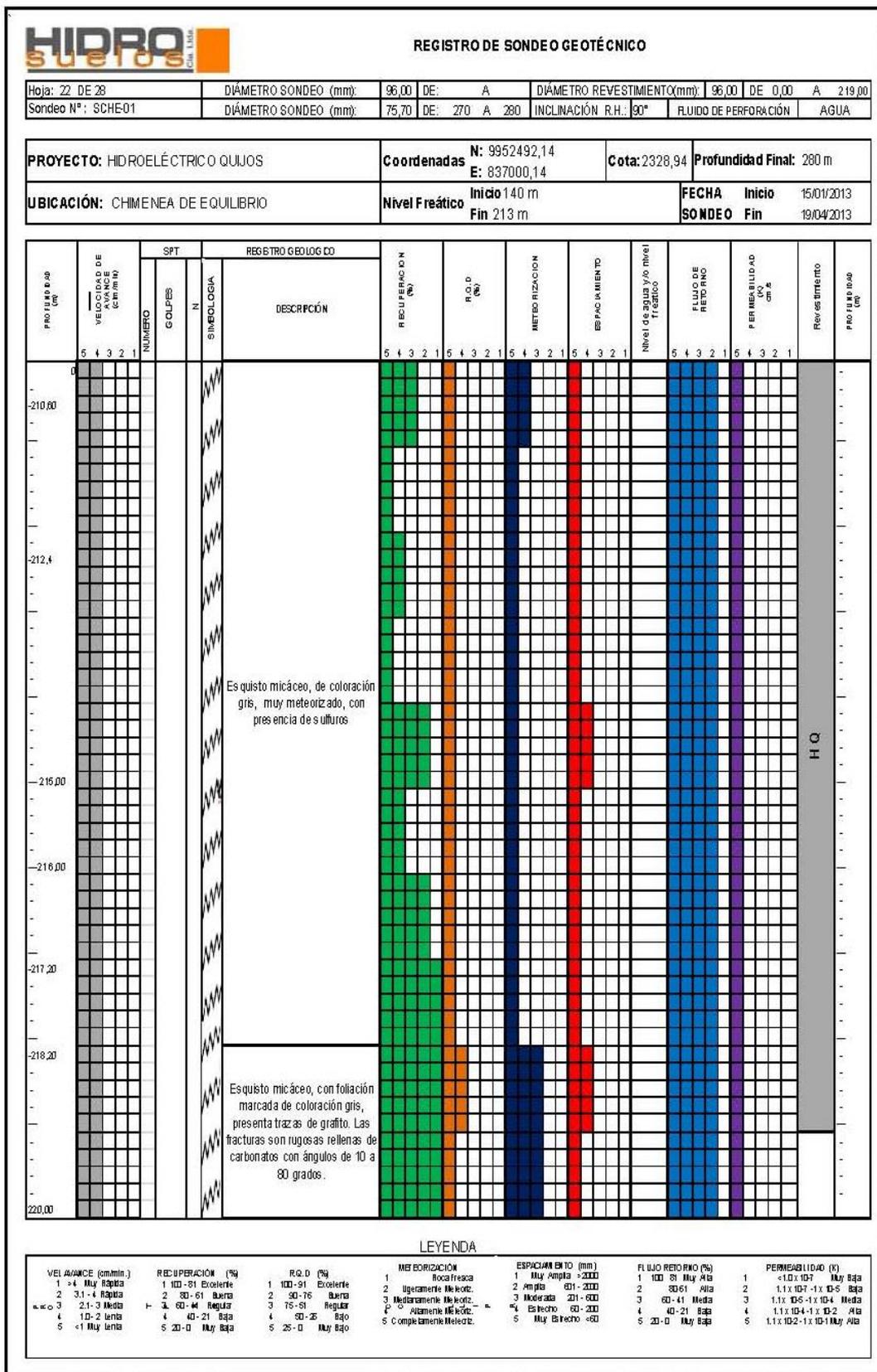
LEYENDA

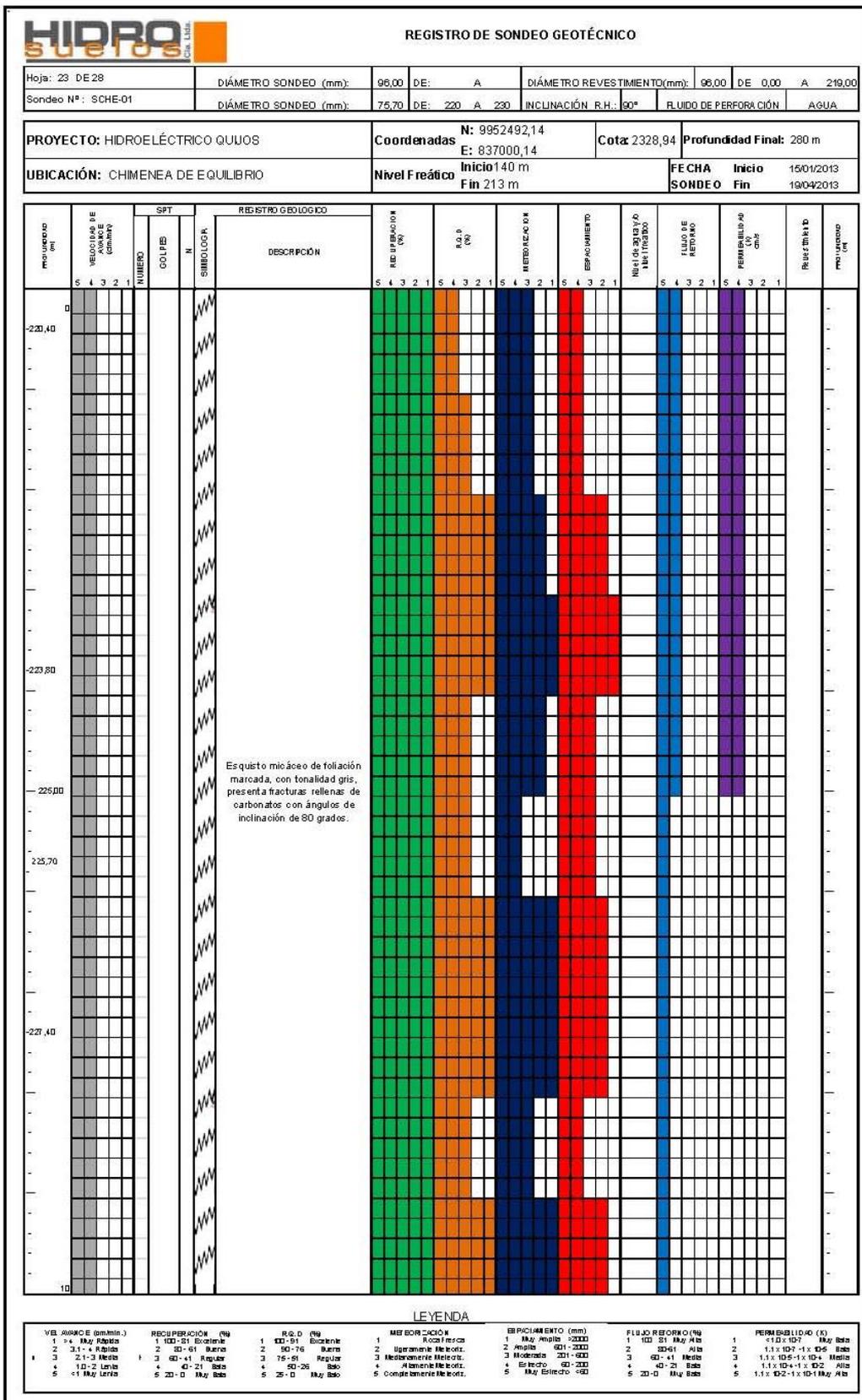
VEL AVANCE (cm/min.) 1 > 4 Muy Rápido 2 2,1 - 4 Regular 3 2,1 - 3 Medio 4 1,0 - 2 Lento 5 < 1 Muy Lento	RECUPERACIÓN (%) 1 100-91 Excelente 2 90-81 Buena 3 60-41 Regular 4 40-21 Mala 5 20-0 Muy Mala	R.O.D (%) 1 100-91 Excelente 2 90-76 Buena 3 75-61 Regular 4 60-26 Mala 5 25-0 Muy Mala	METEORIZACIÓN 1 Rocas Frescas 2 Ligera Meteorización 3 Moderadamente Meteorizada 4 Abundante Meteorización 5 Completamente Meteorizada	SENTAMIENTO (mm) 1 Muy Ancho >2000 2 Ancho 600-2000 3 Moderado 200-600 4 Estrecho 60-200 5 Muy Estrecho <60	FLUJO RETO (m³) 1 100-20 Muy Alto 2 50-99 Alto 3 60-41 Medio 4 40-21 Bajo 5 20-0 Muy Bajo	PERMEABILIDAD (k) 1 <10 x 10 ⁻⁷ Muy Baja 2 1,1 x 10 ⁻⁷ - 1 x 10 ⁻⁶ Baja 3 1,1 x 10 ⁻⁶ - 1 x 10 ⁻⁵ Media 4 1,1 x 10 ⁻⁵ - 1 x 10 ⁻⁴ Alta 5 1,1 x 10 ⁻⁴ - 1 x 10 ⁻¹ Muy Alta
--	---	--	---	--	--	---









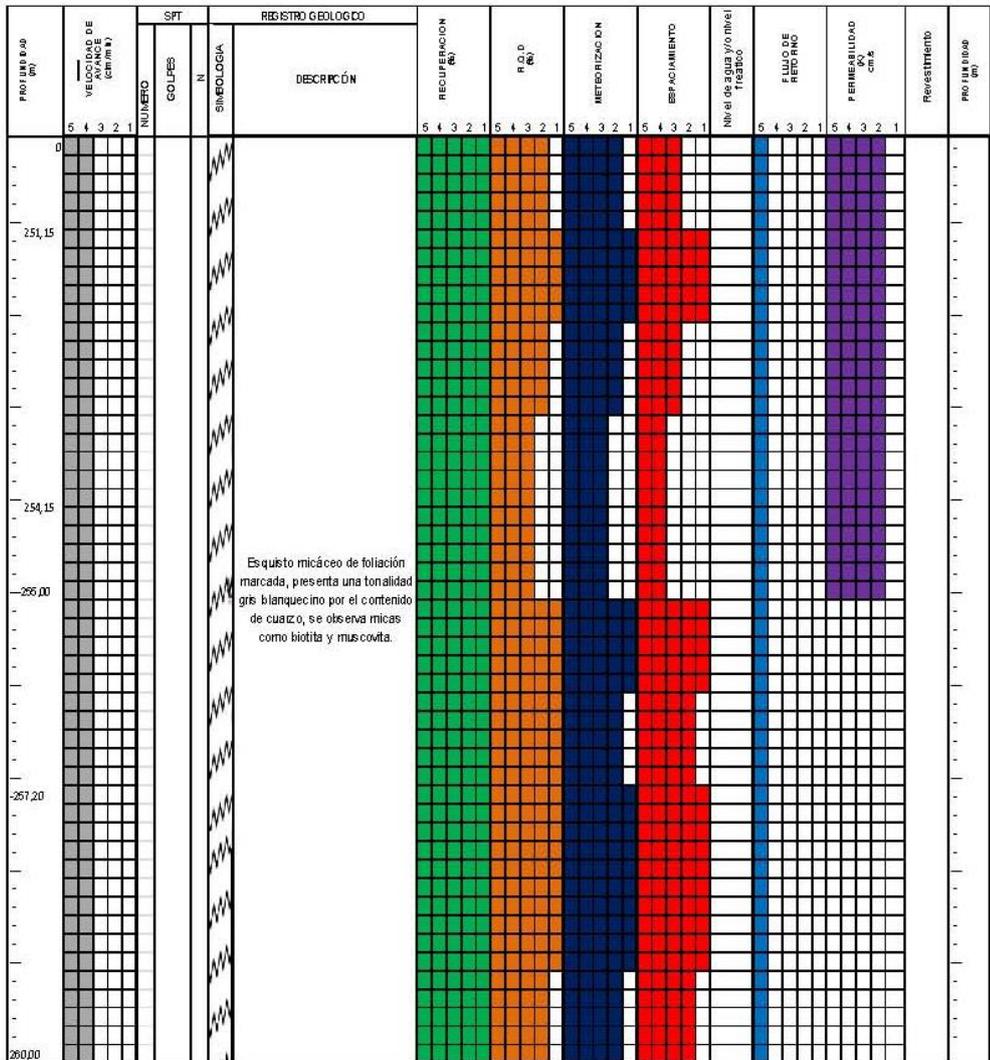




REGISTRO DE SONDEO GEOTÉCNICO

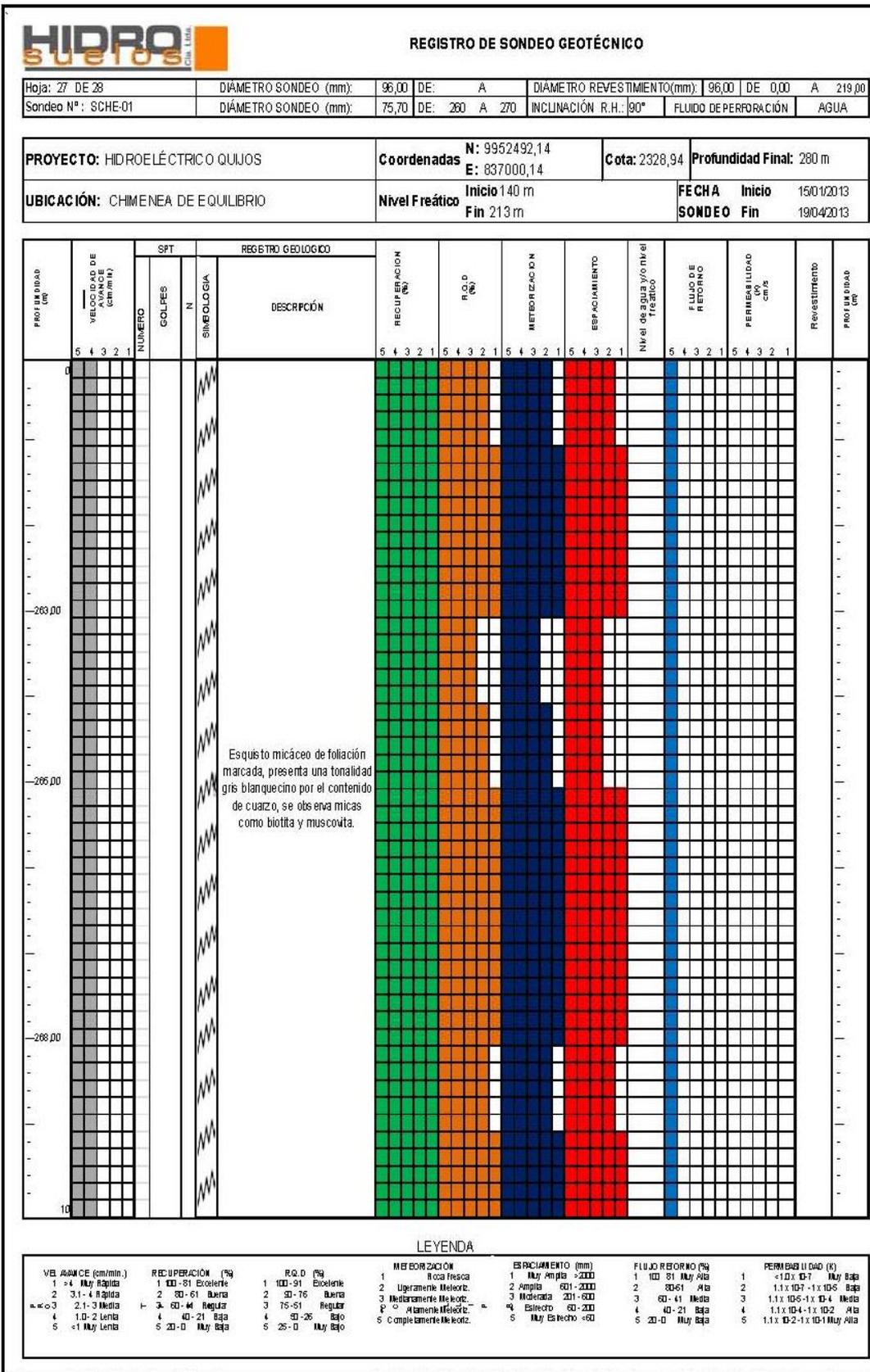
Hoja: 26 DE 28	DIÁMETRO SONDEO (mm): 96,00	DE: A	DIÁMETRO REVESTIMIENTO (mm): 96,00	DE: 0,00	A: 219,00
Sondeo Nº: SCHE-01	DIÁMETRO SONDEO (mm): 75,70	DE: 250	A: 260	INCLINACIÓN R.H.: 90°	FLUIDO DE PERFORACIÓN: AGUA

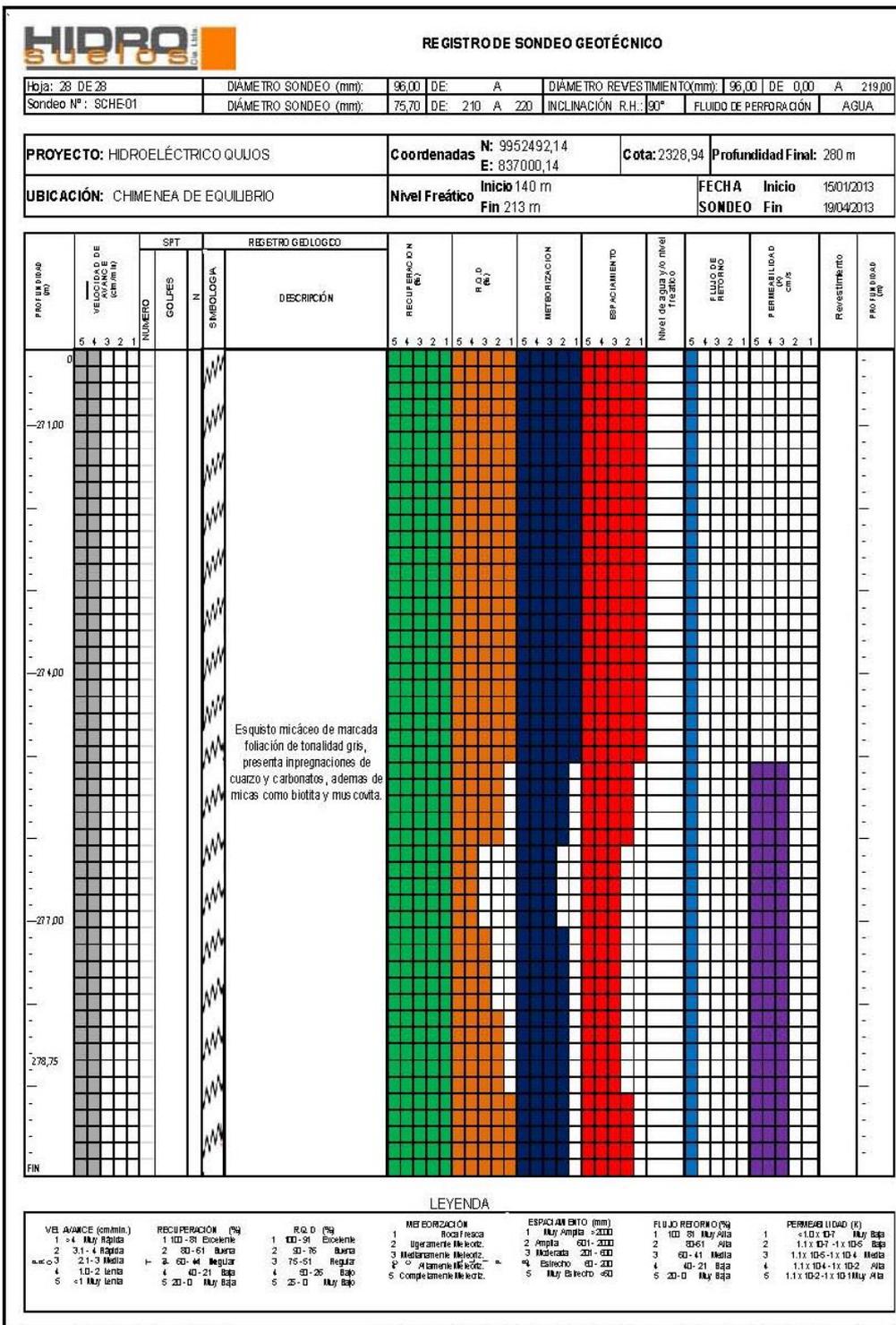
PROYECTO: HIDROELÉCTRICO QUIJOS	Coordenadas N: 9952492,14 E: 837000,14	Cota: 2328,94	Profundidad Final: 280 m
UBICACIÓN: CHIMENEA DE EQUILIBRIO	Nivel Freático Inicio 140 m Fin 213 m	FECHA Inicio 15/01/2013 Fin 19/04/2013	



LEYENDA

VEL. AVANCE (cm/min.)	RECUPERACION (%)	R.Q.D. (%)	METEORIZACION	ESPACIAMIENTO (mm)	FLUJO RETORNO (%)	PERMEABILIDAD (K)
1 = 4 Muy Rápida	1 100-81 Excelente	1 100-91 Excelente	1 Roca Fresca	1 Muy Amplia >200	1 100-81 Muy Alta	1 <10 ⁻¹⁰ Muy Baja
2 3-4 Rápida	2 80-61 Buena	2 90-76 Buena	2 Uvemente Meteor.	2 Amplia 60-200	2 30-61 Alta	2 1.1x 10 ⁻¹¹ a 1x 10 ⁻⁸ Baja
3 2-3 Media	3 60-41 Regular	3 75-51 Regular	3 Moderadamente Meteor.	3 Moderada 20-60	3 60-41 Media	3 1.1x 10 ⁻⁵ a 1x 10 ⁻⁴ Media
4 1-2 Lenta	4 40-21 Mala	4 50-26 Mala	4 Altamente Meteor.	4 Brevemente 10-20	4 40-21 Baja	4 1.1x 10 ⁻⁴ a 1x 10 ⁻² Alta
5 <1 Muy Lenta	5 20-0 Muy Mala	5 25-0 Muy Mala	5 Completamente Meteor.	5 Muy Breve <10	5 20-0 Muy Baja	5 1.1x 10 ⁻² a 1x 10 ⁻¹ Muy Alta





Anexo D
Pruebas de laboratorio

Como se expuso en el capítulo 4 de este estudio a continuación se recopilan los ensayos realizados en laboratorio para la determinación de los parámetros que controlan la Geomecánica del túnel Ventana 2 del PHQ.

Cabe resaltar que los ensayos en algunos casos recopilan más de un parámetro, ya que van íntimamente ligados a su determinación,, en otros se los ha realizado de manera individual debido a falencias o solicitadas por el autor de este trabajo.

Por pedido de **CELEC EP** y **ASTEC – Integral**, acogiéndose a cláusulas contractuales de confidencialidad, no se ha podido para este estudio poner todos los ensayos realizados, sino un extracto de cada ensayo para justificar y evidenciar la veracidad de que dichas pruebas fueron realizadas.

Clasificación de suelos



ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y ENSAYO DE MATERIALES

CLASIFICACION DE SUELOS

INF.13-0008
 Hoja 03 de 24

Quito, 15 de Enero de 2013.

SOLICITADO POR: ASOCIACION ASTEC INTEGRAL
 PROYECTO: HIDROELECTRICO QUIJOS
 FISCALIZADOR: ING. FREDDY RODRIGUEZ
 CONTRATISTA: ***
 COD. MUESTRA: P03

GRANULOMETRIA					
NORMA: ASTM D 421		ASTM D 422		PESO INICIAL: 150.0	
TAMIZ No.	ABERTURA TAMIZ (mm)	PESO RETENIDO (gr)	PORCENTAJE RETENIDO (%)	PORCENTAJE ACUMULADO (%)	PORCENTAJE PASANTE (%)
4	4.75	12.14	9.9	9.9	90.1
10	2.00	8.45	6.9	16.8	83.2
20	0.850	6.67	5.4	22.2	77.8
40	0.425	5.37	4.4	26.6	73.4
200	0.075	24.47	19.9	46.5	53.5
PASA 200		65.66	53.5	100.0	0.0
TOTAL		122.76			

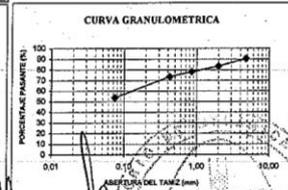
LIMITE LIQUIDO					
NORMA: ASTM D 423		ASHTO T89	ASHTO T90		
CAPSULA No.	No. GOLPES	PESO HUMEDO (gr)	PESO SECO (gr)	PESO CAPSULA (gr)	% HUMEDAD
P	17	30.44	25.71	5.29	23.16
AH	25	33.15	28.01	5.44	22.77
BD	37	26.71	22.89	5.38	21.82

LIMITE PLASTICO					
NORMA: ASTM D 424		ASHTO T89	ASHTO T90		
PRUEBA No.	CAPSULA No.	PESO HUMEDO (gr)	PESO SECO (gr)	PESO CAPSULA (gr)	LIMITE PLASTICO (%)
1	BE	11.30	10.29	5.30	20.28
2	H	12.28	11.09	5.30	20.55

HUMEDAD NATURAL					
NORMA: INEN 690		ASTM D 2216			
PRUEBA No.	CAPSULA No.	PESO HUMEDO (gr)	PESO SECO (gr)	PESO CAPSULA (gr)	HUMEDAD NATURAL (%)
1	O	83.52	69.91	9.67	22.59
2	G	72.77	61.36	8.97	21.78

RESUMEN DE RESULTADOS					
W =	22.2	%	LP =	20	%
LL =	23	%	IP =	2	%

CLASIFICACION SUCS: ML-CL



Ing. Cesar Morfey B.
 JEFE DE LABORATORIO
 Laboratorio calificado por el INEN y miembro del Sistema Nacional de Laboratorios, SILA.



ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y ENSAYO DE MATERIALES

CLASIFICACION DE SUELOS

INF.13-0008
 Hoja 24 de 24

Quito, 15 de Enero de 2013.

SOLICITADO POR: ASOCIACION ASTEC INTEGRAL
 PROYECTO: HIDROELECTRICO QUIJOS
 FISCALIZADOR: ING. FREDDY RODRIGUEZ
 CONTRATISTA: ***
 COD. MUESTRA: P24

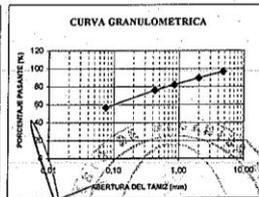
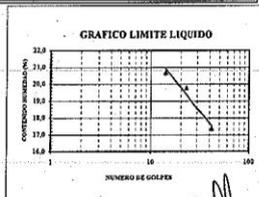
GRANULOMETRIA					
NORMA: ASTM D 421		ASTM D 422		PESO INICIAL: 150,0	
TAMIZ No.	ABERTURA TAMIZ (mm)	PESO RETENIDO (gr)	PORCENTAJE RETENIDO (%)	PORCENTAJE ACUMULADO (%)	PORCENTAJE PASANTE (%)
4	4,75	4,09	3,2	3,2	96,8
10	2,00	9,38	7,4	10,6	89,4
20	0,850	9,29	7,3	17,9	82,1
40	0,425	8,02	6,3	24,2	75,8
200	0,075	24,52	19,3	43,5	56,5
PASA 200		71,82	56,5	100,0	0,0
TOTAL		127,12			

LIMITE LIQUIDO					
NORMA: ASTM D 423		ASHTO T89		ASHTO T90	
CAPSULA No.	No. GOLPES	PESO HUMEDO (gr)	PESO SECO (gr)	PESO CAPSULA (gr)	% HUMEDAD
P	14	30,49	26,90	9,54	20,68
AH	23	25,67	22,34	5,50	19,77
BD	42	22,46	19,90	5,15	17,36

LIMITE PLASTICO					
NORMA: ASTM D 424		ASHTO T89		ASHTO T90	
PRUEBA No.	CAPSULA No.	PESO HUMEDO (gr)	PESO SECO (gr)	PESO CAPSULA (gr)	LIMITE PLASTICO (%)
1	BE	9,80	9,20	5,11	14,67
2	H	10,10	9,51	5,37	14,25

HUMEDAD NATURAL					
NORMA: INEN 690		ASTM D 2216			
PRUEBA No.	CAPSULA No.	PESO HUMEDO (gr)	PESO SECO (gr)	PESO CAPSULA (gr)	HUMEDAD NATURAL (%)
1	O	73,59	64,09	10,80	17,83
2	G	73,10	63,35	9,67	18,16

RESUMEN DE RESULTADOS					
W =	18,0	%	LP =	14	%
LL =	19	%	IP =	5	%
CLASIFICACION SUCS:		ML			



Ing. Cesar Montoya B.
JEFE DE LABORATORIO

Laboratorio calificado por el INEN y miembro del Sistema Nacional de Laboratorios, SINA

Contenido de Humedad



ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y ENSAYO DE MATERIALES

CONTENIDO DE HUMEDAD

INF.12-2174
Hoja 01 de 2

Quito, 21 de Diciembre de 2012

SOLICITADO POR: ING. FREDDY RODRIGUEZ

PROYECTO: HIDROELECTRICO QUIJOS

MUESTRA: PIE DE TALUD

HUMEDAD NATURAL					
NORMA: INEN 690		ASTM D 2216			
PRUEBA No.	MUESTRA No.	PESO HUMEDO (gr)	PESO SECO (gr)	PESO CAPSULA (gr)	HUMEDAD NATURAL (%)
1	LS27	127,63	71,12	9,85	92,23
2	LS53	128,35	71,25	9,83	92,97

Ing. Cesar Morrey B.

JEFE DE LABORATORIO

Laboratorio calificado por el INEN y miembro del Sistema Nacional de Laboratorios, SILA.



Archivo: Humedad12-001.xls



ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y ENSAYO DE MATERIALES

CONTENIDO DE HUMEDAD

INF.12-2174
 Hoja 02 de 2

Quito, 21 de Diciembre de 2012

SOLICITADO POR: ING. FREDDY RODRIGUEZ

PROYECTO: HIDROELECTRICO QUIJOS

MUESTRA: CORONA TALUD

HUMEDAD NATURAL					
NORMA: INEN 690		ASTM D 2216			
PRUEBA No.	MUESTRA No.	PESO HUMEDO (gr)	PESO SECO (gr)	PESO CAPSULA (gr)	HUMEDAD NATURAL (%)
1	LS27	104,00	86,00	9,65	23,58
2	LS53	103,00	85,00	9,88	23,96


 Ing. César Morrey
 JEFE DE LABORATORIO



Laboratorio calificado por el INEN y miembro del Sistema Nacional de Laboratorios, SILA.

Archivo: Humedad12-001.xls

Compresión simple



ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y ENSAYO DE MATERIALES

ENSAYO COMPRESION SIMPLE EN ROCAS

INF. 13-0744

Quito, 23 de Mayo de 2013

Hoja 2 de 2

PROYECTO: QUIJOS

SOLICITA: ASTEC - INTEGRAL

FECHA DE ENSAYO: 21-may-13

NORMA: ISRM

Litología:	SCHE - 01
Muestra:	CAJA 4
Profundidad(m):	12,67-13,00
Diámetro (cm):	6,30
Area (cm ²):	31,17
Carga máxima (kg):	14282
Esfuerzo máximo a la compresión (kg/cm ²):	458,16
Tipo de falla:	Vertical
Defectos:	Porosa
Fecha de extracción:	**_**_**
Fecha de ensayo:	21/05/13
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

MUESTRA ANTES DE ENSAYO



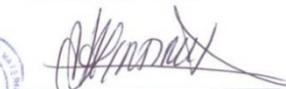
MUESTRA LUEGO DE ENSAYO



 ING. MERCEDES VILLACIS

JEFE DE LABORATORIO

Laboratorio calificado por el INEN y miembro del Sistema Nacional de Laboratorios, SILA.



 ING. JORGE VINTIMILLA
ENCARGADO DE SOPORTE TÉCNICO DEL ÁREA DE
ENSAYO DE MATERIALES Y ROCAS

Ensayos Mono axiales



ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y ENSAYO DE MATERIALES

COMPRESION MONOAXIAL DE ROCAS

INFORME 13-0232

Quito, 28 de febrero de 2013.

01 de 03

PROYECTO: Proyecto Hidroeléctrico Quijos
SOLICITA: Fiscalización - Ing. Julio Carcelen
FISCALIZADOR: Ing. Julio Carcelen
CONTRATISTA: CNEEC
SONDEO: P 2 (5P7)
PROFUNDIDAD: 71,66 a 72,00

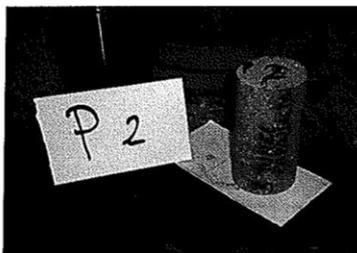
CARACTERISTICAS DE LA PROBETA

DIAMETRO (D) (cm):	4,77	PESO(N):	4,56
ALTURA (L) (cm):	9,70	PESO UNITARIO(KN/m ³):	26,31
VOLUMEN(cm ³)	173,34		

DESCRIPCION MACROSCOPICA DE LA MUESTRA

COLOR:	gris claro
FORMA DE FALLA:	plano subvertical
COMPORTAMIENTO:	ductil
PLANO DE DISCONTINUIDAD RESPECTO A LA CARGA:	ninguno
OBSERVACIONES:	ninguna

MUESTRA ANTES DEL ENSAYO

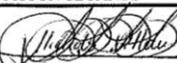


MUESTRA LUEGO DEL ENSAYO

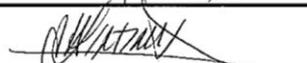


RESUMEN DE RESULTADOS

RELACION L/D	2,00
AREA (cm ²)	17,87
CARGA MAXIMA (KN)	153,67
RESISTENCIA A LA COMPRESION UNIAxIAL (Mpa)	85,99
RESISTENCIA A LA COMPRESION UNIAxIAL CORREGIDA(Mpa)	85,99
MODULO DE ELASTICIDAD LONGITUDINAL TANGENTE (Gpa)	60,97
MODULO DE ELASTICIDAD LONGITUDINAL SECANTE (Gpa)	68,60
REALACION DE POISSON TANGENTE	0,111
REALACION DE POISSON SECANTE	0,104


 ING. MERCEDES VILLACIS
 JEFE DE LABORATORIO




 ING. JORGE VINTIMILLA
 ENCARGADO DE SOPORTE TECNICO DEL AREA DE ENSAYO DE MATERIALES Y ROCAS

Laboratorio calificado por el INEN y miembro del sistema Nacional de Laboratorios SILA

Ensayo de porosidad



ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y ENSAYO DE MATERIALES

ENSAYO DE PESO ESPECÍFICO, ABSORCIÓN Y POROSIDAD

INF 13-759
HOJA 1 DE 8

Quito, 29 de Mayo de 2013

SOLICITA: ING. JULIO CARCELÉN
PROYECTO: HIDROELECTRICO QUIJOS
CONTRATISTA: CELEC
FISCALIZADOR: ASTEC
SONDEO: SCHE-01
MUESTRA: CAJA 4
PROFUNDIDAD: 12,67m-13,00m
NORMA: ASTM C128-07a

MUESTRA		SCHE-01 CAJA 4
PESO ESPECIFICO :	gr/cm3	2,39
PESO ESPECIFICO S.S.S. :	gr/cm3	2,46
PESO ESPECIFICO APARENTE :	gr/cm3	2,57
ABSORCION DE AGUA :	%	2,95
POROSIDAD :	%	18,08


ING. MERCEDES VILLACIS
JEFE DE LABORATORIO




ING. JORGE VINTIMILLA
ENCARGADO DE SOPORTE TÉCNICO DEL ÁREA
DE ENSAYO DE MATERIALES Y ROCAS

Laboratorio calificado por el INEN y miembro del Sistema Nacional de Laboratorios SILA



ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y ENSAYO DE MATERIALES

ENSAYO DE PESO ESPECÍFICO, ABSORCIÓN Y POROSIDAD

INF 13-759
 HOJA 6 DE 8

Quito, 29 de Mayo de 2013

SOLICITA: ING. JULIO CARCELÉN
PROYECTO: HIDROELECTRICO QUIJOS
CONTRATISTA: CELEC
FISCALIZADOR: ASTEC
SONDEO: SCHE-01
MUESTRA: CAJA 23
PROFUNDIDAD: 249,78m-250,0m
NORMA: ASTM C128-07a

MUESTRA		SCHE-01 CAJA 23
PESO ESPECIFICO :	gr/cm3	2,77
PESO ESPECIFICO S.S.S. :	gr/cm3	2,78
PESO ESPECIFICO APARENTE :	gr/cm3	2,79
ABSORCION DE AGUA :	%	0,38
POROSIDAD :	%	2,91


 ING. MERCEDES VILLACIS
 JEFE DE LABORATORIO




 ING. JORGE VINTIMILLA
 ENCARGADO DE SOPORTE TÉCNICO DEL ÁREA
 DE ENSAYO DE MATERIALES Y ROCAS

Laboratorio calificado por el INEN y miembro del Sistema Nacional de Laboratorios SILA

Ensayo mono-axial SCHE 01



ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y ENSAYO DE MATERIALES

COMPRESION MONOAXIAL DE ROCAS

INFORME 13-0762

Quito, 29 de mayo de 2013.

01 de 03

PROYECTO: Proyecto Quijos
SOLICITA: ASTEC - INTEGRAL
FISCALIZADOR: ****
CONTRATISTA: ****
SONDEO: SCHE 01 - CAJA 23
PROFUNDIDAD: 249,78 - 250,00

CARACTERISTICAS DE LA PROBETA

DIAMETRO (D) (cm):	4,72	PESO(N):	4,32
ALTURA (L) (cm):	9,15	PESO UNITARIO(KN/m ³):	26,99
VOLUMEN(cm ³)	160,24		
DESCRIPCION MACROSCOPICA DE LA MUESTRA			
COLOR:	Plomo claro - betas blancas		
FORMA DE FALLA:	Plano inclinado		
COMPORTAMIENTO:	Ductil		
PLANO DE DISCONTINUIDAD RESPECTO A LA CARGA-OBSERVACIONES:	Ninguna		

MUESTRA ANTES DEL ENSAYO



MUESTRA LUEGO DEL ENSAYO



RESUMEN DE RESULTADOS

RELACION L/D	1,90
AREA (cm ²)	17,52
CARGA MAXIMA (KN)	46,99
RESISTENCIA A LA COMPRESION UNIAXIAL (Mpa)	26,82
RESISTENCIA A LA COMPRESION UNIAXIAL CORREGIDA(Mpa)	26,82
MODULO DE ELASTICIDAD LONGITUDINAL TANGENTE (Gpa)	12,58
MODULO DE ELASTICIDAD LONGITUDINAL SECANTE (Gpa)	10,02
REALACION DE POISSON TANGENTE	0,056
RELACION DE POISSON SECANTE	0,069

ING. MERCEDES VILLACIS
JEFE DE LABORATORIO



ING. JORGE VINTIMILLA
ENCARGADO DE SOPORTE TECNICO DEL AREA DE ENSAYO DE MATERIALES Y ROCAS

Laboratorio calificado por el INEN y miembro del sistema Nacional de Laboratorios SILA



ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y ENSAYO DE MATERIALES

COMPRESION MONOAXIAL DE ROCAS
DATOS DE ENSAYO

INFORME 13-0762
02 de 03

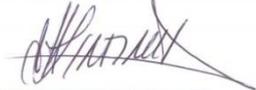
Quito, 29 de mayo de 2013.

PROYECTO: Proyecto Quijos
SOLICITA: ASTEC - INTEGRAL
FISCALIZADOR: ****
CONTRATISTA: ****
SONDEO: SCHE 01 -CAJA 23
PROFUNDIDAD 249,78 - 250,00

CARGA (Kg)	DEF. AXIAL (cm/cm)*10-6	DEF. TRANSV. (cm/cm)*10-6	ESFUERZO (Kg/cm2)
0	0	0	0,00
500	280	0	28,54
1000	600	-10	57,07
1500	970	-40	85,61
2000	1270	-70	114,14
2500	1480	-100	142,68
3000	1680	-120	171,21
3500	1900	-150	199,75
4000	2110	-180	228,28
0	0	0	0,00
1000	730	-40	57,07
2000	1230	-90	114,14
3000	1675	-115	171,21
4000	1950	-140	228,28


ING. MERCEDES VILLACIS
JEFE DE LABORATORIO




ING. JORGE VINTIMILLA
ENCARGADO DE SOPORTE TÉCNICO DEL ÁREA DE ENSAYO
DE MATERIALES Y ROCAS

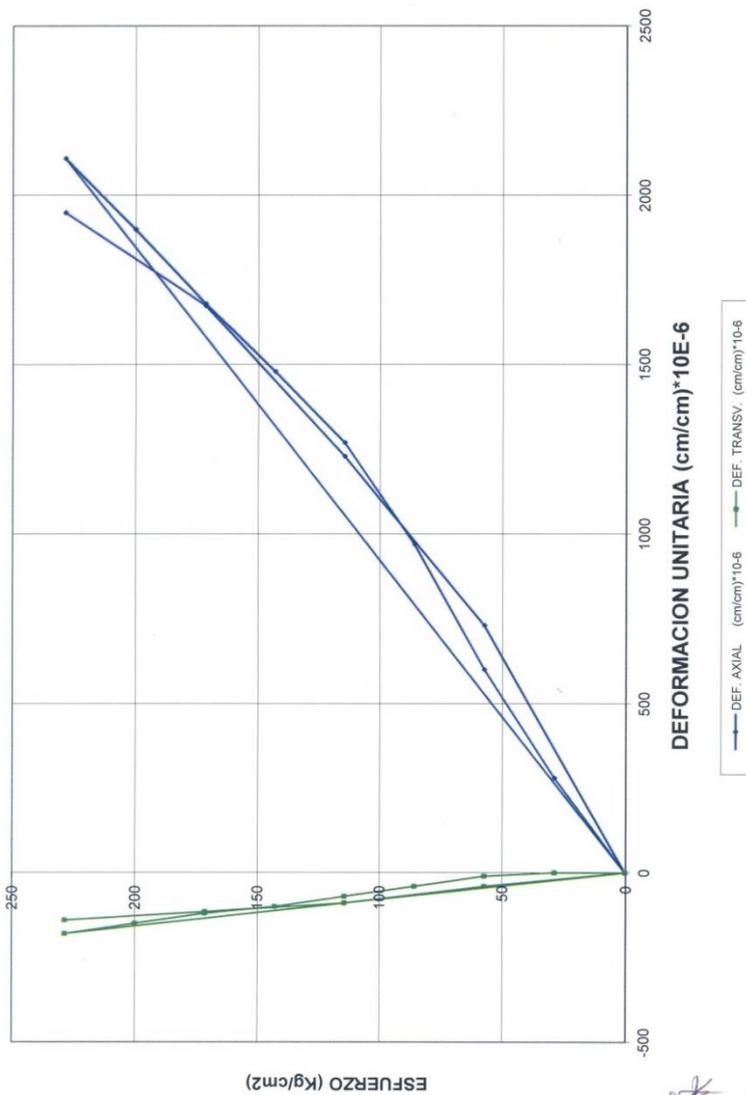
Laboratorio calificado por el INEN y miembro del sistema Nacional de Laboratorios SILA



ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y ENSAYO DE MATERIALES

SCHE 01 -CAJIA 23
 249,78 - 250,00

INFN°013-0762
 03 de 03



Consolidación



ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y ENSAYO DE MATERIALES

CONSOLIDACION
INF:12-2150

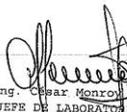
HOJA 03 DE 10

P.NATURL: 99,57 P.SECO: 65,8 P.SAT: 109,62

PROYECTO: HIDROELECTRICO QUIJOS	PESO (gr) = 99,57	De (cm) = 3,55
PERFORAC: ***	Hm (cm) = 7,79	Dm (cm) = 3,56
MUESTRA: CORONA TALLAD VIA VENTANA (1+830)	γ_m (gr/cm ³) = 1,285	Di (cm) = 3,56
ENSAYO: CD #3	w% inic = 51,32	Ao (cm ²) = 9,94
TIPO: ***	w% fin = 66,60	Vo (cm ³) = 77,47
CONDIC: NATURAL	γ_d (gr/cm ³) = 0,849	CTE. VOL = 1,00

FC (kg/cm ²) = 5,00		CP (kg/cm ²) = 3,00		Gconsol (kg/cm ²) = 2,00			
FECHA	HORA	TIEMPO (min)	LECTURA CAMB. VOL.	Dvol. (cm ³)	Δv (%)	Ea (%)	Acorr. (cm ²)
	14:05:00 a.m.	0	0,00	0,00	0,00	0,00	9,94
		0,1	2,54	-2,54	-3,28	-1,09	10,16
		0,25	4,37	-4,37	-5,64	-1,88	10,31
		0,5	5,93	-5,93	-7,65	-2,55	10,44
		1	7,46	-7,46	-9,63	-3,21	10,56
		2	9,15	-9,15	-11,81	-3,94	10,70
		4	10,55	-10,55	-13,62	-4,54	10,81
		8	11,74	-11,74	-15,15	-5,05	10,90
		15	12,51	-12,51	-16,15	-5,38	10,96
		30	12,96	-12,96	-16,73	-5,58	11,00
		60	13,30	-13,30	-17,17	-5,72	11,02
		120	13,65	-13,65	-17,62	-5,87	11,05
		180	13,9	-13,87	-17,90	-5,97	11,06
		240	14,0	-13,99	-18,06	-6,02	11,07

Quito, 18 de diciembre de 2012


 Ing. Cesar Monroy
 JEFE DE LABORATORIO

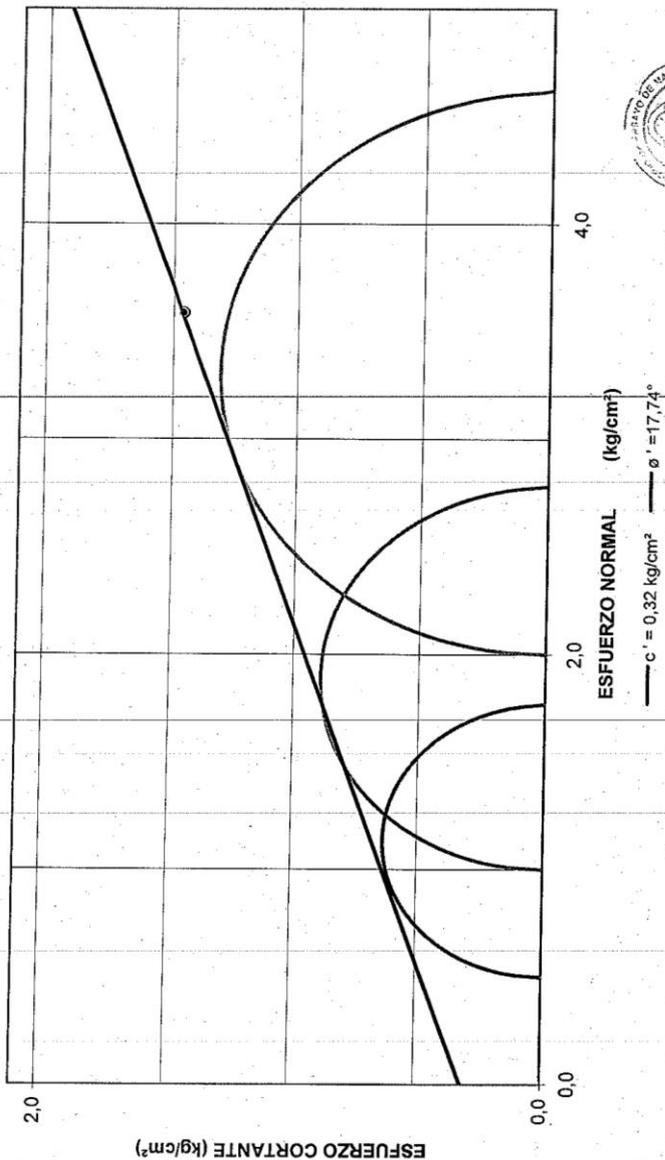




ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y ENSAYO DE MATERIALES

CIRCULOS DE MOHR
PROYECTO: HIDROELECTRICO QUIJOS
MUESTRA: CORONA TALUD VIA VENTANA1 1+530

INF: 12-2150
HOJA 07 DE 10

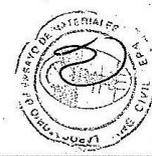
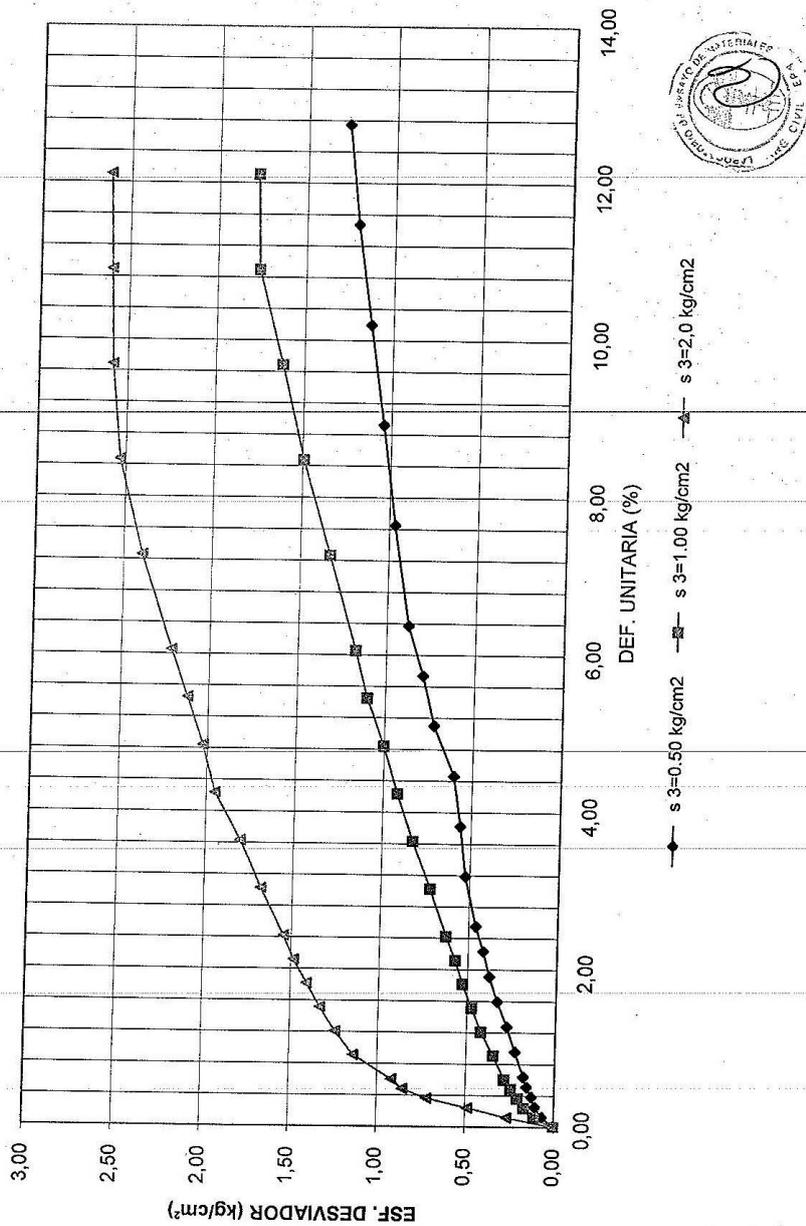




ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y ENSAYO DE MATERIALES

ESF. DESVIADOR - DEF. UNITARIA
 PROYECTO: HIDROELECTRICO QUIJOS
 MUESTRA: CORONA TALUD VIA VENTANA 1
 1+530

INF: 12-2150
 HOJA 08 DE 10



Espectrometría



FUNDIRECICLAR

**INFORME DE
ESPECTROMETRIA**

Código: RG-PC-03-06

Versión: 2

Fecha: 16/11/2012

FECHA DEL INFORME:

25/11/2013 14:41:13

Resultados:

MUESTRA No: 532SP800

FECHA: 25/11/2013

MUESTRA ID: PROY. HIDRO. QUIJOS/MUESTRA 2

HORA: 12:37:33

BASE-PROGRAMA: Fe-10-F

NORMA A COMPROBAR: ASTM A588 Gr A/ SI CUMPLE

NOTAS/OBSERVACIONES: e aprox. 1"

	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Mo	Al	Cu	Co
Value	0,155	0,378	1,04	0,0210	0,00220	0,414	0,0220	<0,00200	0,0330	0,263	0,0100
	Ti	Nb	V	W	Pb	B	Sn	Zn	As	Bi	Ca
Value	0,00430	<0,00300	0,0180	0,0160	0,00700	<0,00050	<0,00100	<0,00200	0,00540	<0,00200	0,00350
	Ce	Zr	La	Fe							
Value	<0,00300	<0,00150	<0,00100	97,6							

**FUNDIRECICLAR
S.A.**

Medido por:

Revisado por:

Ecuainox es una marca registrada de Fundireciclar

Índice de carga puntual



ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y ENSAYO DE MATERIALES

INDICE DE CARGA PUNTUAL

INF.No.13-0764
HOJA 1 de 4

Quito, 30 de Mayo de 2013

PROYECTO: QUIJOS
SOLICITA: ASTEC - INTEGRAL
MUESTRA: S-CHE - CAJA 4
UBICACIÓN: *****

FECHA DE ENSAYO: 27/05/2013

PROFUNDIDAD: 12,67 - 13,00
NORMA: ISRM - ASTM D5731 - 03

MUESTRA No.	DESCRIPCION	TIPO ENSAYO	DIAMETRO (mm)	ALTURA (mm)	DISTANCIA "D" (mm)	CARGA "p" (Kg)	Is (Kg/cm ²)	Is ₅₀ (Kg/cm ²)
1	CAJA 4	DIAMETRAL	63,0	65,0	63,0	1586,9	40,0	44,4

MUESTRA ANTES DEL ENSAYO

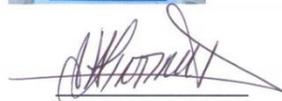


MUESTRA LUEGO DEL ENSAYO




ING. MERCEDES VILLACIS
JEFE DE LABORATORIO




ING. JORGE VINTIMILLA
ENCARGADO DE SOPORTE TÉCNICO DEL ÁREA DE ENSAYO DE
MATERIALES Y ROCAS

Laboratorio calificado por el INEN y miembro del Sistema Nacional de Laboratorios, SILA.



ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y ENSAYO DE MATERIALES

INDICE DE CARGA PUNTUAL

INF.No.13-0764
HOJA 3 de 4

Quito, 30 de Mayo de 2013

PROYECTO: QUIJOS
SOLICITA: ASTEC - INTEGRAL
MUESTRA: S-CHE - CAJA 19
UBICACIÓN: *****
PROFUNDIDAD: 184.7 - 185
NORMA: ISRM - ASTM D5731 - 03

FECHA DE ENSAYO: 27/05/2013

MUESTRA No.	DESCRIPCION	TIPO ENSAYO	DIAMETRO (mm)	ALTURA (mm)	DISTANCIA "D" (mm)	CARGA "P" (Kg)	Is (Kg/cm ²)	Is ₅₀ (Kg/cm ²)
1	CAJA 19	DIAMETRAL	47,0	46,0	47,0	836,7	37,9	36,8

MUESTRA ANTES DEL ENSAYO

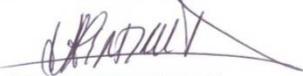


MUESTRA LUEGO DEL ENSAYO




ING. MERCEDES VILLACIS
JEFE DE LABORATORIO




ING. JORGE VINTIMILLA
ENCARGADO DE SOPORTE TECNICO DEL AREA DE ENSAYO DE MATERIALES Y ROCAS

Laboratorio calificado por el INEN y miembro del Sistema Nacional de Laboratorios, SILA.

Anexo E

Guía de utilización de la hoja de calificación RMR y Q

RMR

Para la utilización de la hoja se debe tener un conocimiento exacto sobre cada uno de los parámetros a evaluar, donde se elige un puntaje de acuerdo con los rangos que se tiene.

1.- Resistencia a la compresión uniaxial: este dato es un dato referencial que se obtiene de ensayos de laboratorio donde nos da un valor en MPa., los cuales elegiremos el puntaje de acuerdo al rango que se encuentre; los puntajes vienen definidos en ensayos preestablecidos por el sistema de clasificación.

2.- RQD: es un parámetro que puede ser calculado mediante algunos métodos en base a la cantidad de fracturas existentes donde nos da un porcentaje, este porcentaje se lo ubica en los rangos y se obtiene un puntaje.

3.-Espaciado de discontinuidades: se refiere a la distancia promedio que se tiene entre discontinuidades predominantes en el tramo a calificar, una vez definido se compara con los rangos en la hoja de clasificación de la hoja y se obtiene un puntaje.

4.- Condición de discontinuidades: para este punto la hoja de clasificación nos da dos formas de poder obtener un puntaje.

1. **La primera (no muy recomendado)** es una clasificación global de un tramo en base de la longitud, separación, rugosidad, el relleno de discontinuidades y grado de alteración o meteorización.

2. **La segunda** es una clasificación individual de cada uno de los parámetros que definen la condición de discontinuidades, se las puede ver, medir y evaluar in situ, los puntajes también es individual, lo que se califica es:

- **Longitud:** se refiere a la distancia que tiene la discontinuidad o grupo de discontinuidades dentro del tramo, es un valor medible.
- **Separación:** se refiere a si la discontinuidad está abierta o cerrada es otro valor medible.

- **Rugosidad:** se refiere a la identificación dentro de las separaciones de las discontinuidades el estado de las superficies.
- **Relleno:** parámetro ligado a la separación y rugosidad, ya que dentro de las discontinuidades ya sea abiertas o cerradas, sean rugosas o lisas posee un relleno que puede ser: blando, duro o no tener relleno, este es un parámetro medible
- **Meteorización:** se refiere al estado del macizo que va desde descompuesta a inalterada.

5.- Agua subterránea: se refiere a la cantidad de agua que posee el tramo a calificar, la hoja es muy versátil en este tema ya que se puede hacer por varios métodos como es la toma de caudal, por medio de la toma de la presión de agua o la más recomendable que es definir las condiciones generales del macizo que va desde Completamente seco a Flujo, dando el respectivo puntaje.

La suma de todos los puntajes de las cinco para metros nos da un valor que se conoce como valor RMR, donde se hará las correcciones en función de la orientación del rumbo y buzamiento de las discontinuidades. Este valor de corrección se le resta a este RMR básico para obtener un RMR Ajustado.

El valor del RMR ajustado se lo ubica en los rangos de los tipos de roca, para poder definir el tipo de macizo y observar el tiempo de sostenimiento (definido en la misma hoja). En la parte izquierda de la hoja de clasificación se llena las medidas de cada una de las fracturas en los campos orientación de estas discontinuidades para definir la predominante y poder hacer dicha corrección al RMR.

Índice Q

Para la utilización del Índice Q para el Proyecto Hidroeléctrico Quijos se plantea un sistema de clasificación en la que se relaciona familias de estructuras, dependiendo de su grado de incidencia en relación a la excavación.

Para esto se tomara a la estructura más representativa de cada familia y se la califica individualmente, como se muestra en la tabla. Al final se realizara una evaluación de todo el tramo a calificar según los cuadros de clasificación para la determinación de RQD, Jr, Jw, Ja y SFR.

Se aplica la fórmula para Q y se define el sostenimiento según los planos de construcción del Proyecto aprobados para cada una de los tipos de roca.

Anexo F
Planos de licitación y cortes Geológicos PHQ