



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

**“CONSTRUCCIÓN DEL POZO DE PRESIÓN CON EL MÉTODO  
RAISE BORING Y ENSANCHAMIENTO MANUAL EN EL  
PROYECTO HIDROELÉCTRICO QUIJOS”**

**TRABAJO DE TITULACIÓN**

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

**AUTOR**  
**EDWIN JADMANY RAMÓN REDROVAN**

**MACAS-ECUADOR**

**2015**

## **APROBACIÓN DEL TRIBUNAL**

**EL TRIBUNAL DE TRABAJO DE TITULACIÓN CERTIFICA QUE:** el trabajo de investigación titulado “CONSTRUCCIÓN DEL POZO DE PRESIÓN CON EL MÉTODO RAISE BORING Y ENSANCHAMIENTO MANUAL EN EL PROYECTO HIDROELÉCTRICO QUIJOS”, De responsabilidad del Sr. Egresado Edwin Jadmany Ramón Redrovan, ha sido prolijamente revisada quedando autorizada su presentación.

Para constancia de lo actuado firman:

### **TRIBUNAL DE TRABAJO DE TITULACIÓN**

---

**Ing. Henry Herman Remache.**

**DIRECTOR**

---

**Ing. Ivan Arturo Pino**

**MIEMBRO**

## **DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD**

Yo, **Edwin Jadmany Ramón Redrovan**, 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, 08 de Enero del 2016

Edwin Jadmany Ramón Redrovan.

C.I: 140070650-1

## **DEDICATORIA**

*La presente Tesis está dedicada a Dios, ya que gracias a su bendición he logrado concluir mi carrera.*

*A mis padres, porque ellos siempre estuvieron a mi lado brindándome su apoyo, en especial a mi madrecita que está en el cielo, ELVIA FLORENCIA REDROVAN NIVES quien me trajo a este mundo que estuvo a mi lado amándome, cuidándome y aconsejándome para hacer de mí una mejor persona.*

*A mis abuelitos y hermanos, en especial a EDGAR PATRICIO RAMON REDROVAN y a su esposa SOFIA por la confianza, por ese apoyo incondicional durante mis estudios.*

*A mis SOFIAS, hija y sobrina, gracias por ser unos adornos incomparables que alegraron a mi vida.*

*A las personas que de una u otra manera ayudaron en el desarrollo de este trabajo.*

## **AGRADECIMIENTO**

*A todos mis maestros quienes me enseñaron sus conocimientos durante toda mi vida de estudios, en especial a mis maestros de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.*

*A mi familia y amigos quienes me dieron sus buenos consejos y apoyo moral para seguir adelante y poder concluir con mi trabajo de titulación.*

**ABREVIATURAS Y SIGLAS**

<b>CELEC:</b>	Corporación Eléctrica del Ecuador
<b>BGS:</b>	British Geological Survey
<b>EEQ:</b>	Empresa Eléctrica Quito
<b>EPP:</b>	Equipo de protección personal
<b>MW:</b>	Mega Watts
<b>MPA:</b>	Mega pascales
<b>N:</b>	Norte
<b>S:</b>	Sur
<b>E:</b>	Este
<b>O:</b>	Oeste
<b>PHQ:</b>	Proyecto Hidroeléctrico Quijos
<b>MSNM:</b>	Metros sobre el nivel del mar
<b>MA:</b>	Miles de años
<b>MM:</b>	Milímetros
<b>M<sup>2</sup>:</b>	Metros cuadrados
<b>FC:</b>	Falla Cosanga
<b>FSA:</b>	Falla Subandina
<b>JCY:</b>	Formación Cuyuja
<b>JUP:</b>	Formación Upano
<b>RMR:</b>	Rock Mass Rating, Clasificación de Bieniawski
<b>OCP:</b>	Oleoducto de Crudo Pesado
<b>PHQ:</b>	Proyecto Hidroeléctrico Quijos
<b>XPP-02:</b>	Sondeo de Pozo de Presión
<b>SFR:</b>	Factor de reducción debido a tensiones en el macizo

## TABLA DE CONTENIDO

<b>LISTA DE GRÁFICOS.....</b>	<b>vii</b>
<b>LISTA DE CUADROS.....</b>	<b>viii</b>
<b>LISTA DE FOTOGRAFÍAS.....</b>	<b>ix</b>
<b>I. INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>1</b>
1.1. ANTECEDENTES .....	1
1.2. OBJETIVOS .....	2
1.2.1. Objetivo general.....	2
1.2.2. Objetivos específicos .....	2
1.3. JUSTIFICACIÓN .....	3
<b>II. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO .....</b>	<b>4</b>
2.1. UBICACIÓN Y ACCESO AL ÁREA DE ESTUDIO.....	4
2.2. MORFOLOGÍA.....	5
2.3. HIDROGRAFÍA .....	6
2.4. TOPOGRAFIA .....	¡Error! Marcador no definido.
2.5. CARACTERÍSTICAS CLIMÁTICAS .....	8
2.5.1. Temperatura promedio anual .....	9
2.5.2. Precipitación .....	9
2.5.3. Humedad relativa.....	9
2.5.4. Velocidad y dirección del viento .....	9
2.6. VEGETACION.....	10
2.7. ASPECTOS SOCIOECONÓMICOS .....	11
2.8. TRABAJOS ANTERIORES .....	11
2.9. PROBLEMAS DURANTE LA CONSTRUCCIÓN .....	14
<b>III. GEOLOGÍA .....</b>	<b>15</b>
3.1. GEOLOGÍA DE LA CORDILLERA REAL .....	15
3.3. COBERTURA VOLCÁNICA-SEDIMENTARIA .....	18
3.3.1. Volcánicos del mio-plioceno. ....	18
3.3.2. Geología del cuaternario .....	20
3.3.3. Resumen del modelo geológico cuaternario .....	24
3.4. ESTRUCTURAS .....	25
<b>IV. GEOLOGÍA Y GEOTECNIA DEL ÁREA DE ESTUDIO.....</b>	<b>27</b>
4.1. LOGEO DEL SONDEO XPP-02 .....	28
4.1.1. Rocas volcánicas (0,00 – 16,00 m); e = 16,00 m.....	29
4.1.2. Brecha (16,00 - 42,10m); e=26,10m.....	29
4.1.3. Rocas metamórficas (42,10 – 130,65 m); e = 88,55 m.....	30

4.1.4. Nivel del agua del sondeo .....	32
4.2. REGISTRO GEOTÉCNICO DEL SONDEO XPP-02.....	33
4.2.1. Velocidad de perforación.....	33
4.2.2. RQD (Índice de calidad de roca) .....	35
4.2.3. Meteorización .....	35
4.2.4. Espaciamiento.....	36
4.3. CARACTERIZACIÓN GEOLÓGICO – GEOTÉCNICO.....	38
4.3.1. Resistencia a la compresión uniaxial.....	38
4.3.2. RQD (Rock Quality Designation).....	38
4.3.3. Separación entre las discontinuidades .....	39
4.3.4. Condiciones de las discontinuidades .....	39
4.3.5. Presencia de agua freática.....	41
4.4. INTERPRETACIÓN DE MAPEO DE CAMPO A PARTIR DEL SONDEO XPP-2 .....	41
<b>V. CONSTRUCCIÓN DEL POZO DE PRESIÓN.....</b>	<b>46</b>
5.1. SELECCIÓN DEL MÉTODO.....	46
5.2. GENERALIDADES-RAISE BORING .....	46
5.2.1. Shaft drilling .....	47
5.2.2. Shaft boring.....	48
5.2.3. Raise Boring .....	49
5.2.4. Datos históricos del Raise Boring.....	49
5.2.5. Metodología .....	50
5.2.6. Principio de excavación .....	51
5.2.7. Descripción de equipo .....	52
5.2.8. Operación del equipo Raise Boring .....	54
5.2.11. Ventajas del Raise Boring sobre otros métodos .....	55
5.2.12. Desventajas .....	56
5.2.13. Etapas principales de ejecución del método Raise Boring .....	57
5.2.14. Relación entre los diámetros de perforación piloto y escariado .....	59
5.2.15. Rendimiento de excavación.....	59
5.3. PROCESO DE CONSTRUCCIÓN GENERAL DEL POZO DE PRESIÓN ...	60
5.3.1. Selección de maquinaria para la construcción.....	60
5.3.2. Proceso de construcción específico .....	62
5.3.3. Metodología de construcción.....	63
5.4. PROCEDIMIENTO DE EXCAVACION DEL POZO VERTICAL .....	65
5.4.1. Ubicación .....	66
5.4.2. Control Topográfico .....	66
5.4.3. Excavación de pozo piloto (inicio de perforación).....	66
5.4.4. Disposición de barreno pesado .....	67
5.4.5. Excavación de ensanchamiento (escariado) .....	69
5.4.6. Control y ajuste de la verticalidad del pozo.....	71
5.4.7. Tratamiento para la desviación del pozo piloto .....	71
5.4.8. Desmontaje del Raise boring .....	72
5.5. ENSANCHAMIENTO MANUAL O CONVENCIONAL.....	73
5.6. CALCULO DE VOLADURA Y DIAGRAMA DE PERFORACIÓN.....	76

5.6.1. Ventajas de la voladura controlada.....	77
5.6.2. Desventajas de la voladura controlada.....	77
5.6.3. Calculo de voladura controlada .....	77
5.6.4. Calculo de anillos para voladura controlada.....	78
5.7. METODOLOGÍA DE SOSTENIMIENTO.....	81
5.8. CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES .....	83
5.9. SEGURIDAD Y ASPECTO MEDIO AMBIENTE.....	87
5.9.1. Equipo de protección personal (epp) .....	87
5.9.2. Identificación y señalización .....	87
5.9.3. Medidas de seguridad en la perforación .....	90
5.9.4. Medidas de seguridad previas antes de la voladura .....	90
5.9.5. Medidas de seguridad, después de la voladura. ....	92
5.9.6. Medidas de seguridad en el sostenimiento .....	92
5.9.7. Medidas de seguridad en la carga y transporte del escombros.....	94
5.9.8. Aspectos medio ambiente. ....	95
5.9.9. Alteración de la calidad del aire .....	95
5.9.10. Emisión de polvo durante la excavación .....	95
5.9.11. Residuos sólidos y líquidos.....	96
<b>VI. COSTOS CONSTRUCTIVOS DEL POZO DE PRESIÓN.....</b>	<b>98</b>
6.1. COSTOS DEL ENSANCHAMIENTO CON MÉTODO CONVENCIONAL.....	98
6.2. COSTOS DE EXCAVACIÓN CON RAISE BORING.....	98
6.3. COSTO TOTAL DEL POZO DE PRESIÓN .....	99
<b>VII. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....</b>	<b>100</b>
7.1. CONCLUSIONES .....	100
7.2. RECOMENDACIONES.....	101
<b>VIII. RESUMEN .....</b>	<b>103</b>
<b>IX. BIBLIOGRAFIA .....</b>	<b>104</b>
<b>X. ANEXOS.....</b>	<b>106</b>

## LISTA DE GRÁFICOS

	<b>Pag.</b>
<b>Grafico 1:</b> Ubicación del Proyecto .....	5
<b>Grafico 2:</b> Representación morfológica del proyecto Hidroeléctrico Quijos. ....	6
<b>Grafico 3:</b> Representación topográfica del pozo de Presión.....	8
<b>Grafico 4:</b> Estación meteorológica Baeza.....	10
<b>Grafico 5:</b> Nuevos trazados al proyecto Quijos .....	13
<b>Grafico 6:</b> Volcánicos cuaternarias.....	19
<b>Grafico 7:</b> Mapa geológico del área de estudio .....	25
<b>Grafico 8:</b> Mapa de principales estructuras Geológicas .....	26
<b>Grafico 9:</b> Sondeos previos en todo el proyecto.....	28
<b>Grafico 10:</b> Sondeo paralela a una falla.....	42
<b>Grafico 11:</b> Proceso de excavación mecánica con Raise Boring.....	50
<b>Grafico 12:</b> Proceso de escariado en niveles subterráneos .....	51
<b>Grafico 13:</b> Principio de destrucción de la roca.....	52
<b>Grafico 14:</b> Escariadores.....	53
<b>Grafico 15:</b> Perforación piloto y rimado.....	55
<b>Grafico 16:</b> Esquema de perforación piloto (inicio de perforación).....	68
<b>Grafico 17:</b> Esquema de perforación con escariador .....	70
<b>Grafico 18:</b> Diámetros perforar en el pozo de presión .....	74
<b>Grafico 19:</b> Excavación con perforación y voladura .....	75
<b>Grafico 20:</b> Malla de perforación .....	79
<b>Grafico 21:</b> Cargado de explosivos.....	80
<b>Grafico 22:</b> Sostenimiento con pernos de anclaje.....	82
<b>Grafico 23:</b> Sostenimiento en los diferentes tipos de roca .....	82
<b>Grafico 24:</b> Señales de Advertencia .....	88
<b>Grafico 25:</b> Señales de Obligación .....	88
<b>Grafico 26:</b> Señales de Peligro .....	88
<b>Grafico 27:</b> Señales de Evacuación .....	89
<b>Grafico 28:</b> Señales de información .....	89
<b>Grafico 29:</b> Señales de Evacuación .....	90

## LISTA DE CUADROS

	<b>Pag</b>
<b>Cuadro 1:</b> Coordenadas geográficas del P.H.Q y pozo de presión. ....	4
<b>Cuadro 2:</b> Suspensiones de excavaciones. ....	14
<b>Cuadro 3:</b> Clasificación litológica.....	32
<b>Cuadro 4:</b> Medidas del nivel de agua en el sondeo XPP-02 .....	33
<b>Cuadro 5:</b> Velocidad de perforación sondeo XPP-02 .....	34
<b>Cuadro 6:</b> Resumen RQD de sondeo XPP-02.....	35
<b>Cuadro 7:</b> Meteorización de la roca en el trazado de la tubería de presión.....	36
<b>Cuadro 8:</b> Espaciamiento de las discontinuidades sondeo XPP-02.....	37
<b>Cuadro 9:</b> Resistencia a la compresión uniaxial.....	38
<b>Cuadro 10:</b> RQD.....	39
<b>Cuadro 11:</b> Espaciado entre las discontinuidades .....	39
<b>Cuadro 12:</b> Condiciones de las discontinuidades .....	40
<b>Cuadro 13:</b> Agua.....	41
<b>Cuadro 14:</b> Hoja Geotécnica Bieniawski .....	43
<b>Cuadro 15:</b> Clasificación Geológico - Geotécnico del sondeo XPP-02.....	44
<b>Cuadro 16:</b> Dimensiones de las estaciones de trabajo según el equipo .....	54
<b>Cuadro 17:</b> Diámetro de sondaje piloto en relación al diámetro del pozo .....	58
<b>Cuadro 18:</b> Cabeza escariadora vs cabeza escariadora .....	58
<b>Cuadro 19:</b> Rendimiento por jornada .....	60
<b>Cuadro 20:</b> Características de Raise Bring SBM 400 LP.....	61
<b>Cuadro 21:</b> Excavación con escariador .....	73
<b>Cuadro 22:</b> Recomendación practica en voladura controlada.....	80
<b>Cuadro 23:</b> Resumen de las características de sostenimiento para el Pozo .....	83
<b>Cuadro 24:</b> Cronograma de actividades de ejecución total con el Raise Boring. ....	84
<b>Cuadro 25:</b> Cronograma de actividades por pega con excavación convencional .....	85
<b>Cuadro 26:</b> Ciclo de actividades en la construcción del pozo de presión .....	86
<b>Cuadro 27:</b> Costos y precios unitarios de la constructora China.....	99

**LISTA DE FOTOGRAFIAS**

	<b>Pag.</b>
<b>Fotografía 1:</b> Intercesión de Túneles: Venta N°4 y principal que conduce al pozo de presión.....	29
<b>Fotografía 2:</b> Ejecución del sondeo XPP-2, codo superior .....	29
<b>Fotografía 3:</b> Raise Boring .....	62
<b>Fotografía 4:</b> Excavación del codo superior, roca tipo III.....	64
<b>Fotografía 5:</b> Excavación del codo inferior, roca tipo III.....	64

## **LISTA DE ANEXOS**

## **I. INTRODUCCIÓN**

Debido a la situación energética actual del país, se han incorporado leyes que pretenden incentivar la expansión del sector eléctrico, con el fin de cubrir, el déficit energético producto del estancamiento del sector en la última década, poniendo en marcha la construcción de 8 centrales eléctricas, como es el caso 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, teniendo como propósito la producción de energía mediante la captación de aguas de los ríos Papallacta y Quijos, comprendido entre la población de Cuyuja y la unión de los ríos Papallacta y Quijos (casa de máquinas). La Empresa Eléctrica Quito S.A. (EEQSA), concesionó la elaboración de “Los estudios y diseños para el Proyecto Hidroeléctrico Quijos”, al consorcio de compañías ASTEC- INTEGRAL y como constructora a la empresa China National Electric Engineering CO. LTD (CNEEC)

### **1.1. ANTECEDENTES**

Este proyecto de titulación se ha basado en las investigaciones geológico-geotécnicas que se realizaron previa y durante la construcción del PHQ.

La Empresa Eléctrica Quito (EEQ) a cuyo cargo estuvieron los estudios definitivos del mencionado Proyecto Hidroeléctrico, terminó sus investigaciones en el 2001. En los años posteriores el proyecto pasó a formar parte de los denominados proyectos emblemáticos del sector hidroeléctrico, con la oferta de iniciar la generación en el año 2016.

Las obras civiles se iniciaron a comienzos del 2012, con el concurso de varias empresas públicas y privadas, tales como: Corporación Eléctrica del Ecuador (CELEC) (Contratante), *China National Electric Engineering CO. LTD* (CNEEC) (Constructora) y ASTEC – INTEGRAL (Fiscalización). La construcción del PH Quijos registra actualmente un avance del 45%.

## **1.2. OBJETIVOS**

### **1.2.1. Objetivo general**

Construir el pozo de presión aplicando la metodología constructiva RAISE BORING como la más apropiada por sus características y ENSANCHAMIENTO MANUAL.

### **1.2.2. Objetivos específicos**

- Recopilar toda la información geológico – geotécnica existente.
- Sumar nuevas investigaciones geotécnicas para perfeccionar y actualizar el análisis del modelo geológico-
- Definir el comportamiento de las unidades geotécnicas involucradas en la construcción del Pozo de Presión.
- Aplicar el diseño de sostenimiento más conveniente para cada una esas unidades geotécnicas
- Detallar la metodología RAISE BORING, de tal manera que se puedan calcular tanto sus costos como el tiempo de duración.
- Aplicación de malla de voladura y cálculos de explosivos para el ensanchamiento manual.

### **1.3. JUSTIFICACIÓN**

La meta principal para realizar este trabajo está basada en reconocimiento geológico y las unidades geotécnicas para determinar y explicar las técnicas y procedimientos adecuados para la construcción del pozo de Presión con el método Raise Boring. La construcción del pozo sin duda aportara a la condición de flujo constante de agua desde el túnel principal hasta el túnel de Presión, de forma vertical, seguidamente a casa de máquinas.

## II. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO

### 2.1. UBICACIÓN Y ACCESO AL ÁREA DE ESTUDIO

El proyecto al que nos referimos, se encuentra ubicada en la parroquia Cuyuja, del cantón Quijos, provincia de Napo, es decir, aproximadamente a 80 km hacia el sureste de Quito y a 17 km de Papallacta, por la carretera asfaltada Quito–Papallacta–Baeza que constituye su principal vía de acceso.

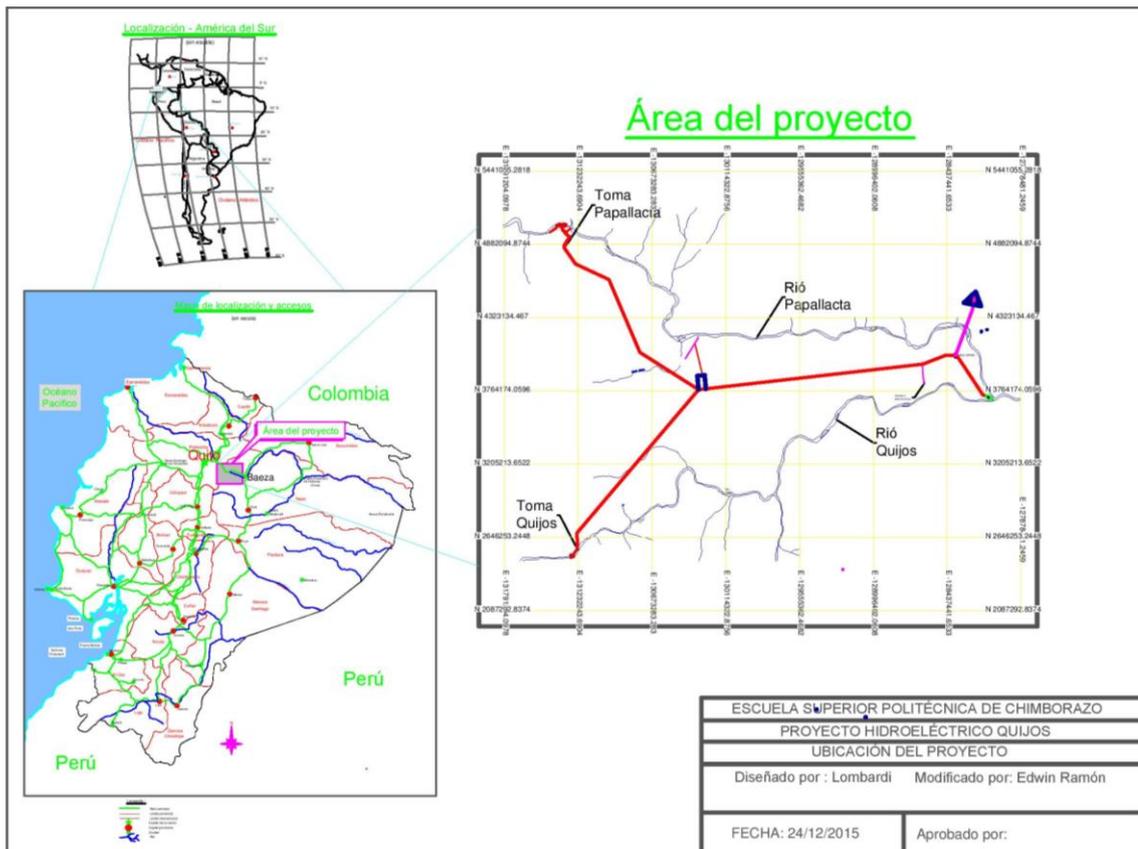
Desde la parroquia Cuyuja debe utilizarse por aproximadamente 7 km una vía de segundo orden. En la zona del proyecto se han construido caminos de acceso hasta la toma del río Papallacta, ventana 1, ventana 2 y casa de máquinas; para llegar al pozo de presión (codo superior) y se accede por Ventana 4 y codo inferior por el túnel de presión.

La superficie analizada para el pozo de presión es de 1 ha, conforma un cuadrado con sus lados que miden 100 m orientados el uno norte-sur y, el otro obviamente, este-oeste. Las coordenadas UTM del área de estudio se muestran en la cuadro 1.

**Cuadro 1.** Coordenadas geográficas del P.H.Q y pozo de presión.

<b>PUNTOS DE REFERENCIA DEL PROYETO HIDROELECTRICO QUIJOS</b>			
<b>PUNTOS</b>	<b>E [m]</b>	<b>N[m]</b>	<b>Elevación [msnm]</b>
<b>1</b>	83186,78	9954067,2	2320,7
<b>2</b>	832031,55	9949951,1	2320,2
<b>3</b>	833632,27	9952016,8	2279,7
<b>4</b>	837115,36	9952483,7	2209,51
<b>5</b>	837496,63	9951937,7	2041,48

**Elaborado por:** Ramón, E. (2015).

**Grafico 1.** Ubicación del Proyecto

Elaborado por: Ramón, E. (2015).

## 2.2. MORFOLOGÍA

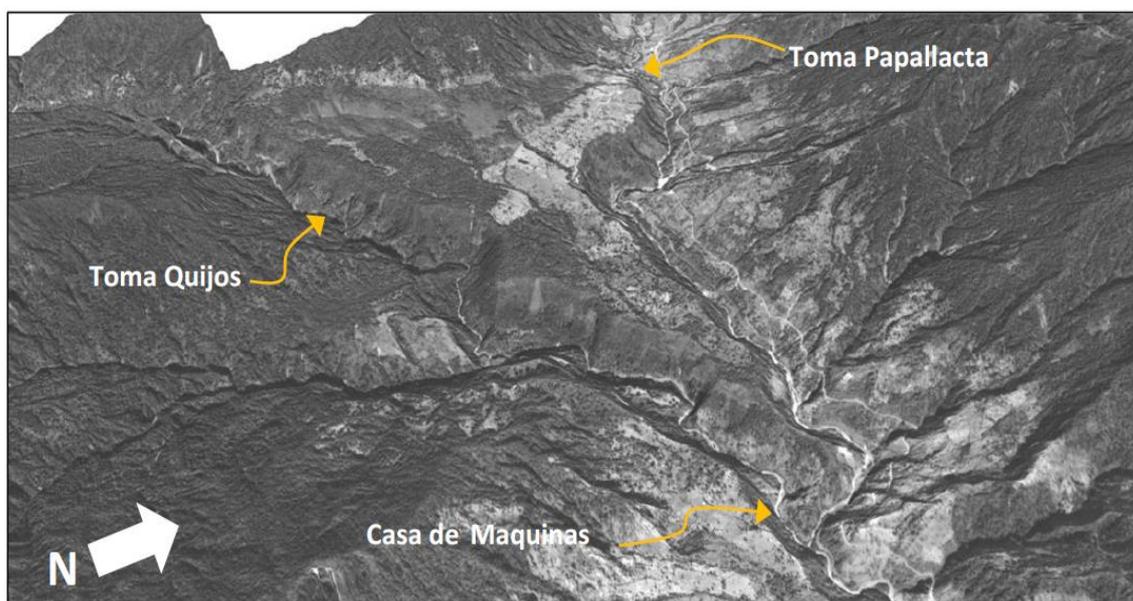
La zona corresponde a la región fisiográfica de la Sierra, se encuentra en las estribaciones orientales de la Cordillera Real. La morfología es un tanto irregular donde se destacan aquellos relieves propios de un paisaje de cuevas con cumbres, picos y mesetas, las cotas fluctúan entre 2 600 y 2 000 msnm. El volcán Antisana constituye la principal elevación de la cuenca del río Quijos, con una altura superior a los 5 753 msnm.

La meseta Huila-La Esperanza (18833183E; 19952104N,  $\pm 2\ 600$  msnm) como su nombre lo indica es una zona semiplano cuyo eje mayor tiene una dirección oeste-este y es donde se implantarán las obras de conducción (túneles de carga y principal, Papallacta y Quijos); el área es propicia para la formación de encharcamientos y humedales especialmente en ciertas épocas del año. La meseta se formó por la

acumulación de productos del Volcán Antisana y por los materiales depositados por los ríos Quijos y Papallacta.

Existe la presencia de zonas inestables que se originan por las fuertes pendientes localizadas hacia las cumbres y, algunas muy inestables en las que pueden observarse desprendimientos de bloques, deslizamientos, reptaciones, fluencia de arcillas (material fino), detritus y también arrastres torrenciales. (Battaglia. D, 2002)

**Grafico 2.** Representación morfológica del proyecto Hidroeléctrico Quijos.



**Fuente:** Battaglia, D. (2010). Informe Geológico Geotécnico.

### 2.3. HIDROGRAFÍA

La zona se ubica en la parte alta de la cuenca hidrográfica del río Quijos-Coca, que, a su vez, forma parte de la cuenca del río Napo, entre los ríos principales constan el Quijos y el Papallacta que drenan sus aguas a la cuenca Amazónica y finalmente al Océano Atlántico. El área de influencia del PH Quijos comprende zonas pertenecientes a las Reservas Ecológicas Cayambe Coca y Antisana.

Para el Proyecto Hidroeléctrico Quijos no se ha considerado la construcción de un embalse, sino el aprovechamiento directo del caudal a filo de agua, es decir, utiliza una parte del caudal de los ríos Papallacta y Quijos con un total de 22 m<sup>3</sup>/s (caudal de

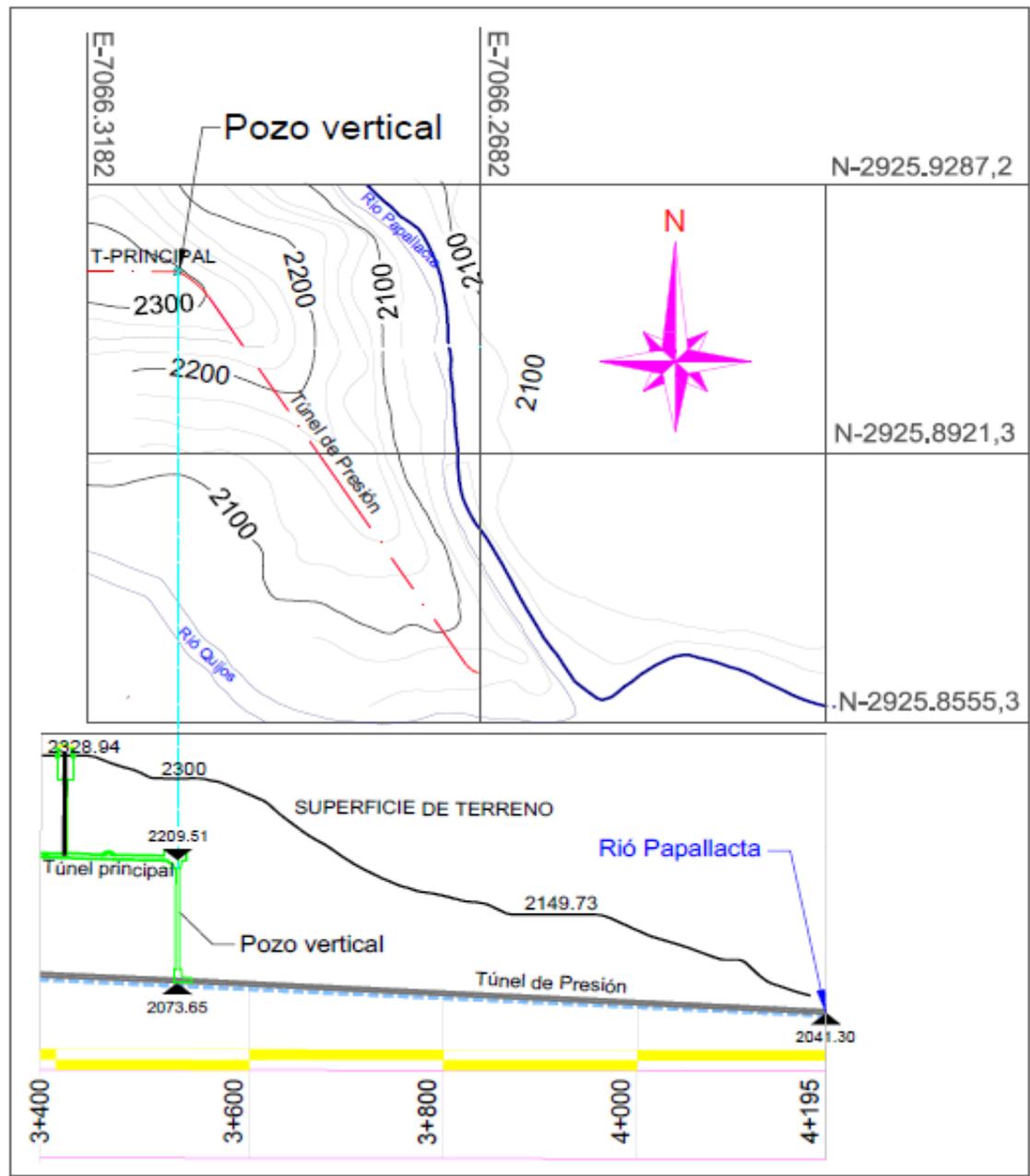
diseño). Cabe mencionar que adicionalmente sus aguas turbinadas alimentarán a la central Baeza de la Empresa Eléctrica Quito. (Battaglia. D, 2002)

## **2.4. TOPOGRAFÍA**

El área del proyecto Hidroeléctrico Quijos se encuentra en el centro, entre los ríos Quijos y Papallacta formando en su mayoría una gran planicie, mientras desde las tomas Papallacta y Quijos hacia casa de máquinas (Túnel principal y Presión) el relieve superficial o la topografía va formando una cresta estrecha, esta se produce por el mismo echo que se acercan las uniones de los ríos ya mencionados.

La construcción del pozo se realizara interiormente, sin embargo en la parte superficial en sentido vertical al pozo se tiene una sobre carga de 90.49 metros, desde la cota 2209,51 a 2300

**Grafico 3.** Representación topográfica del pozo de Presión



Elaborado por: Ramón, E. (2015)

## 2.5. CARACTERÍSTICAS CLIMÁTICAS

Las siguientes características climáticas que se mencionaran está basada en la estación meteorológica Baeza.

### **2.5.1. Temperatura promedio anual**

Fluctúan entre los 0°C (mínima absoluta en Papallacta) hasta los 29,8°C (máxima absoluta en Baeza)

### **2.5.2. Precipitación**

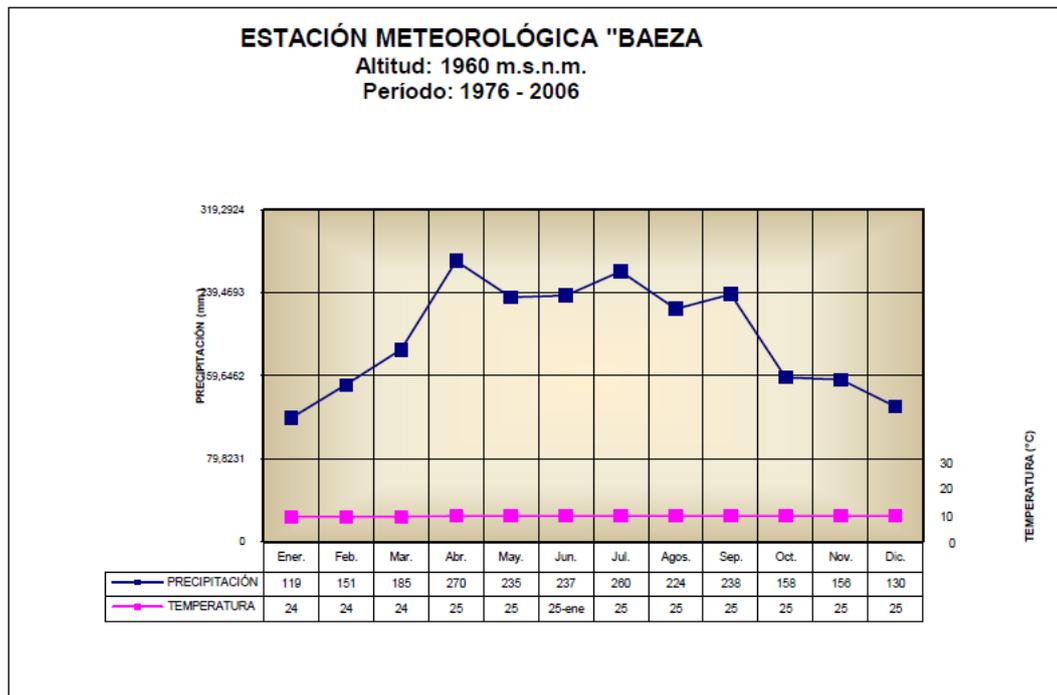
Aproximadamente los 1.300 mm/año en las cabeceras más occidentales de la cuenca hasta los 1.950 mm/año en la confluencia Papallacta-Quijos (año medio).

### **2.5.3. Humedad relativa**

Desde los 38% (mínima en Papallacta) hasta el 100% (máxima detectada en todas las estaciones)

### **2.5.4. 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. (Empresa de agua potable de Quito, 2002)

**Grafico 4.** Estación meteorológica Baeza.

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

Los vientos en el sector de ventana 4 tiene promedios de velocidad de 1,8 metros por segundo, los vientos son más fuertes a las 12 horas.

No hay procesos frecuentes de nubosidad y el cielo tiene menos de ¼ completamente nublado en todo el año, por lo que podemos mencionar que la nubosidad es menor a 2 octavos y el porcentaje de nubosidad es menor al 25%.

## 2.6. VEGETACIÓN

La vegetación corresponde a Bosque Lluvioso Montano Alto y Bosque Siempre Verde Pie Montano. La intervención del hombre se refleja en el aprovechamiento de grandes áreas con pastizales y de otros cultivos que no son permanentes y corresponden a especies de ciclo corto destinadas fundamentalmente al autoconsumo.

Dentro del área de influencia del proyecto Quijos-Baeza, existen todavía especies maderables que representan un valor económico apreciable, tal es el caso del cedro, el nogal y alguna otra, posiblemente preservadas para ser aprovechadas en el futuro.

Hacia las partes altas del proyecto, en un sector conocido como La Cuchilla que está fuera de los límites de la hacienda La Esperanza, se encuentra un remanente de bosque donde se ha podido observar la presencia de algunas especies de aves. (Empresa de agua potable de Quito, 2002)

## **2.7. ASPECTOS SOCIOECONÓMICOS**

Se considera que la población afincada en la zona de estudio se incrementó con la apertura del camino de herradura Pifo - Papallacta - Baeza a finales del siglo XIX, especialmente a raíz de que el 07 de febrero de 1963 se fundara la parroquia de Cuyuja. Las labores agrícolas y ganaderas son las principales actividades económicas de la población (ganado vacuno, ovino y porcino, planteles avícolas y proyectos piscícolas). La hacienda Esperanza cuenta con alrededor de 300 cabezas de ganado. Un trabajador percibe un ingreso de entre 15 y 20 dólares diarios sin alimentación.

Otra actividad tiene relación con el turismo y la recreación, para ello se construyó y adecuaron balnearios, senderos ecológicos y miradores para la contemplación del paisaje tan variado y atractivo de la zona.

Un sector de la población trabaja en entidades gubernamentales, tales como estaciones de Bombeo de Papallacta, Chalpi Chico, Baeza, tanques de combustibles y reservorios de agua.

Se ha verificado que el Sistema de Oleoductos Transecuatorianos SOTE corre a través del área de influencia del PH Quijos.

## **2.8. TRABAJOS ANTERIORES**

Los trabajos anteriores en la Cordillera Real mucho han contribuido para el mapeo regional del *British Geological Survey (BGS)*, efectuado entre 1986 y 1990 con la elaboración de los mapas geológicos a escala 1:500 000 tanto del norte como del sur del país.

La extinta Dirección de Geología y Minas (DGGM) en 1986 publicó el mapa geológico de Píntag escala 1:50 000 separando a las rocas de la zona en volcánicos pliocenos Fm. Pisayambo y pleistocénicos Volcánicos Antisana.

Hall M. (1977), presenta una descripción de las actividades volcánicas del Antisana y, entre ellas, las que se refieren al flujo de lava Antisanilla (Pinantura).

Sevilla J. y otros (2008), en un estudio para la Empresa de Agua Potable de Quito EMAAP-Q realizan una descripción de las unidades litológicas presentes en los sectores de Papallacta y el valle de Carihuaycu.

Varios estudiantes o egresados dentro de las investigaciones para sus tesis previas a la graduación, realizaron trabajos de geología, geotermia e hidrogeología en los flancos del volcán Antisana, sobre todo en los que corresponden al norte.

La Empresa Eléctrica Quito (EEQ S.A.), en junio de 2002, adjudicó la elaboración de “Los estudios y diseños para los Proyectos Hidroeléctricos Quijos y Baeza”, a las empresas consultoras ASTEC - INTEGRAL, trabajos que concluyeron en junio de 2003.

Es importante describir cómo fue concebido el proyecto Quijos y todas las modificaciones de las que fue objeto, desde que inició su construcción en el año 2013.

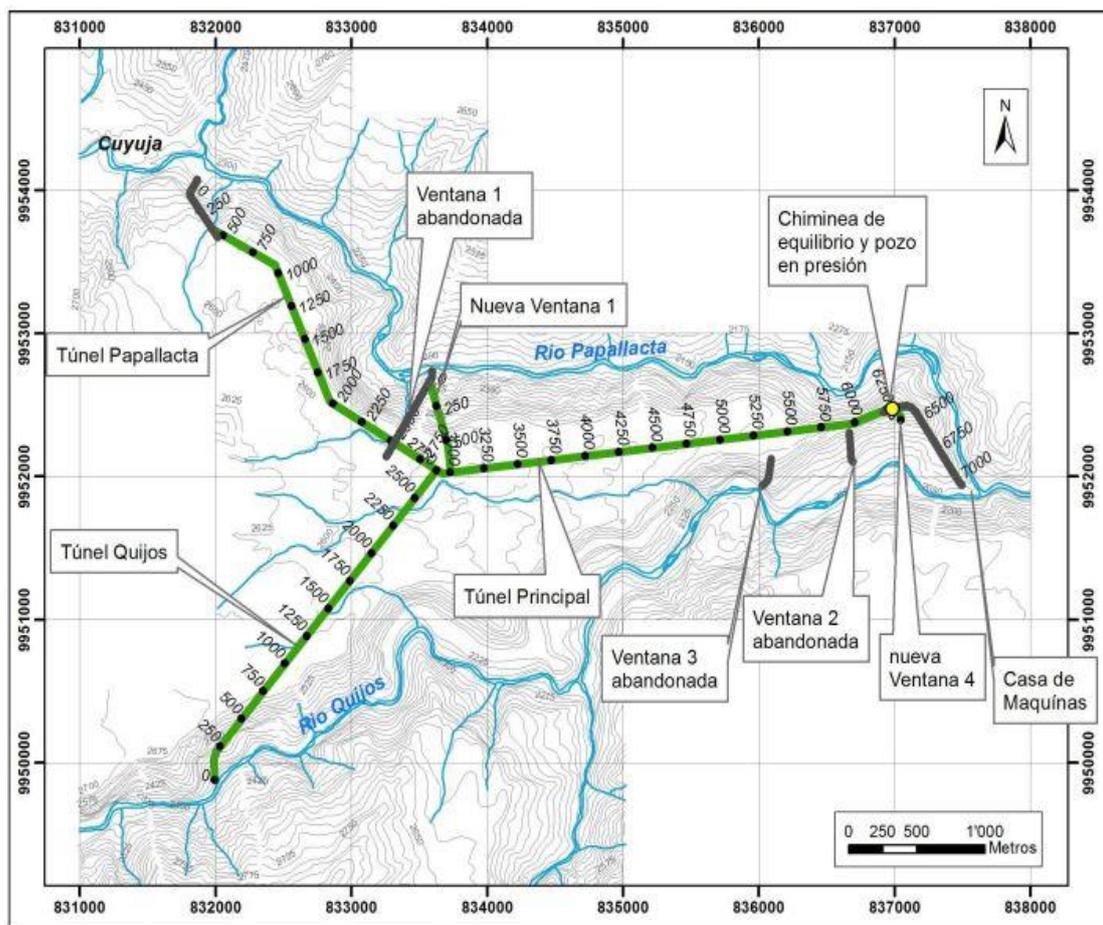
El esquema de construcción planteado en el estudio de 2003 preveía un sistema de "alta presión" conformado por 2 captaciones con la perforación de pozos anexos de 150-240 m de profundidad, 2 túneles de carga denominados Papallacta y Quijos con alrededor de 2 500 m de longitud, que se unían para continuar mediante un solo túnel principal de 3 300 m hasta la chimenea de equilibrio y finalizar con un túnel de presión de 1 220 m hasta la Casa de Maquinas. El diseño de los túneles consideraba un trazado entre las cotas 2 170 m y 2 000 m, con una pendiente del 2% y un diámetro de 3,8 m. Se asumía que la excavación se realizaría con tuneladora.

Para la construcción (año 2013), la empresa CNEEC propuso excavar los túneles aplicando la técnica convencional (perforaciones y voladuras) y modificar el trazado

altimétrico de los túneles. Se descartó la perforación de los pozos y, los sitios de entrada de los túneles subieron hasta la cota de las obras de toma, alrededor de 2 300 m. En consecuencia, se previó que el sistema de conducción tendría una pendiente constante del 5% hasta la Casa de Maquinas ubicada en la cota 2 041msnm. Además, la chimenea de equilibrio fue trasladada 500m al Este del sitio anterior. El sistema de excavación adoptado necesitaba construir 3 ventanas de acceso numeradas 1, 2 y 3.

Para inicios del año 2014 se planteó un nuevo esquema de conducción, consistente en mantener los túneles del sistema de conducción y aprovechar los túneles ya excavados, pero ha debido considerarse adicionalmente la construcción de la ventana 4, de 105 m de longitud en la cota 2 214 msnm. ( Battaglia, 2015. *Informe Geológico Geotécnico*. Italia)

**Grafico 5.** Nuevos trazados al proyecto Quijos



**Fuente:** Battaglia (2010). *Informe de estudio de nuevo trazado*.

## 2.9. PROBLEMAS DURANTE LA CONSTRUCCIÓN

Debido a que el modelo geológico presentaba ciertas incertidumbres, se aumentaron tanto las perforaciones como la sísmica y otras investigaciones, a propósito, incluso varias consultoras extranjeras emitieron sus informes sobre el estado del proyecto.

Durante la construcción (2013), se descubrieron algunos problemas en la excavación de los túneles y ventanas, causados por aspectos geológicos críticos y por cargas hidráulicas elevadas. A fines de diciembre 2013, las excavaciones subterráneas se detuvieron en las abscisas:

**Cuadro 2.** Suspensiones de excavaciones.

<b>Paralización de excavaciones en el año 2013</b>	
<b>TÚNEL</b>	<b>Abscisa</b>
Papallacta	0+471
Presión	0+870
Ventana N°1	0+686
Ventana N°2	0+197
Ventana N°3	0+224

**Elaborado por:** Ramón, E. (2015)

El frente del Túnel Quijos no se había excavado todavía, porque no se contaba con el camino de acceso a la obra de toma.

### **III. GEOLOGÍA**

#### **3.1. GEOLOGÍA DE LA CORDILLERA REAL**

Como se mencionó el área del proyecto se localiza en las estribaciones orientales de la Cordillera Real, que está compuesta por varios cinturones paralelos de rocas metamórficas pre-cretácicas con dirección Norte Sur, limitados por fallas regionales. Estas unidades litotectónicas fueron divididas en Terrenos, la zona de estudio cabe en el Terreno Salado, que incluye la Unidad Cuyuja (Aspden y otros, 1992).

Este Terreno conforma un cinturón de 25 km de ancho, su límite oriental está marcado por la falla Cosanga y, hacia el oeste, con el terreno Loja. El conjunto litológico comprende rocas volcánicas básicas, meta andesitas, esquistos verdes y rocas metasedimentarias, formados en una ambiente de arco de islas en el Jurásico Superior (Litherland et al., 1994). Lo conforman tres unidades: Upano, Cerro Hermoso y Cuyuja, esta última corresponde a la zona de estudio.

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)<sup>5</sup>.

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 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. (Battaglia. D, 2002)

### **3.2. UNIDADES INTERVINIENTES DENTRO DEL PROYECTO**

A continuación se describen las diferentes unidades presentes dentro del proyecto:

#### **1. Unidad Upano (JUp)**

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 Guamote-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  $54 \pm 2$  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).

## **2. Unidad Cuyuja (JCY)**

Fue definida por Litherland y otros en 1994, la localidad tipo debe su nombre a su cantón homónimo, forma un cinturón de hasta 10 km de ancho, se lo ha reconocido como napas de Cuyuja por el tipo de deformación que presenta.

La Unidad está compuesta por esquistos cuarcíticos, grafitosos y sericíticos con diferentes grados de alteración hidrotermal. Su mineralogía consiste de: cuarzo - albita - moscovita, clorita, cloritoide, granate, biotita, cianita, grafito, apatito, sulfuros y, con vetas de cuarzo que contienen cianita.

La edad no está bien definida, Kennerley (1980) obtuvo edades K-Ar en biotita y moscovita de 82,3 Ma. Litherland y otros (1994) sugieren una edad jurásica y un metamorfismo relacionado con el evento Peltetec (~120 Ma.). La continuidad composicional y espacial con la Formación Napo (Duque & López, 1996) significarían

una edad y un metamorfismo más jóvenes. **Ver Anexo B.**- Mapa Geológico Regional. (Battaglia. D, 2002)

### **3.3. COBERTRA VOLCANICA-SEDIMENTARIA**

#### **3.3.1. Volcánicos del mio-plioseno.**

La actividad volcánica relacionada con el régimen de subducción actual data desde el inicio del Mioceno. Los depósitos volcánicos de este período se agrupan en la Formación Pisayambo.

##### **1. Formación pisayambo.**

La formación Pisayambo consiste de una potente y extensa secuencia volcánica que cubre grandes áreas de los Andes del Ecuador, se la ha dividido en dos secuencias la Inferior y la Superior. En la primera predominan los depósitos piroclásticos e incluye brechas gruesas, aglomerados, tobas y algunas lavas. La secuencia Superior, en cambio, está dominada por flujos masivos de lavas basálticas y andesíticas (Balkdock, 1982). Mediante dataciones radiométricas, Barberí y otros (1988), sugieren que la parte basal de la Formación tiene una edad de entre 6 y 5 millones de años.

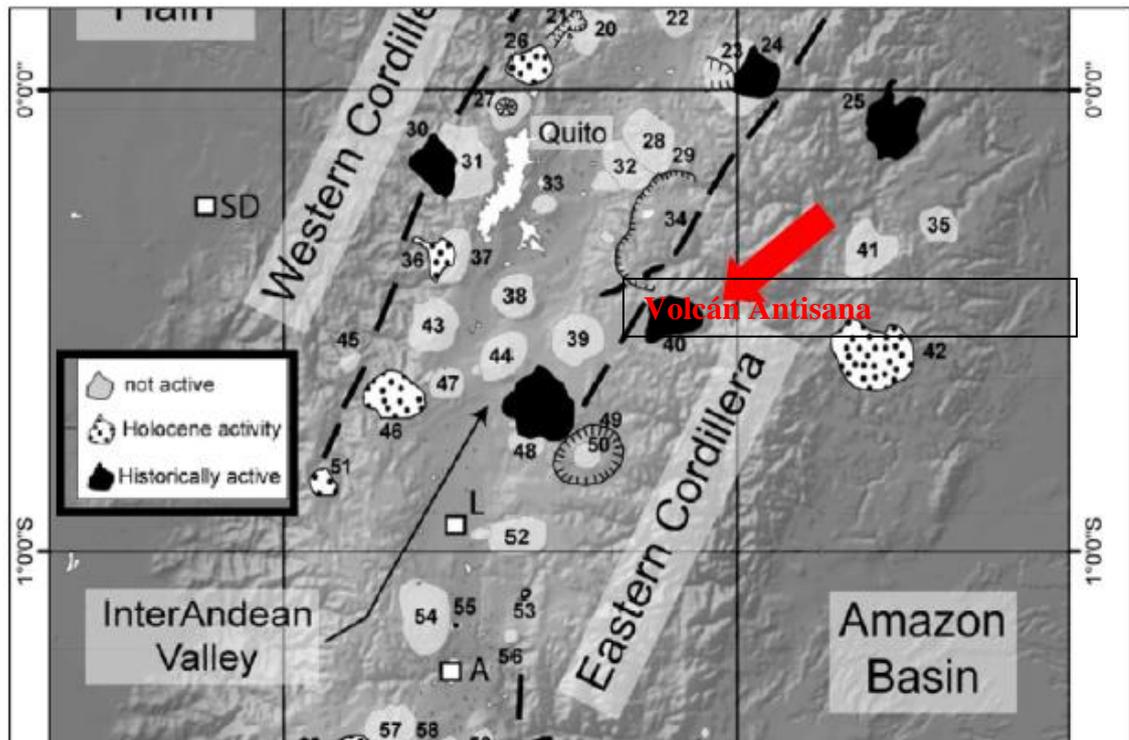
Está constituida por andesitas piroxénicas en ocasiones con anfíbol, en la cordillera Real se encuentran rocas más diferenciadas que las andesitas (Hall y Beate, 1991). De acuerdo con Bristow y otros (1997), se asume que la Formación Pisayambo conforma una plataforma sobre la cual emergieron y se desarrollaron los edificios volcánicos modernos.

##### **2. Volcanismo cuaternario**

Está representado por un gran número de estrato volcanes que abarcan más de 500 kilómetros de longitud del arco. El centro de emisión más cercano al área de estudio es el volcán Antisana, ubicado 16 km al oeste - sur/oeste del Proyecto, históricamente está considerado como activo. (Hall y otros 2008).

El Antisana, de 5 758 m de altura es uno de los volcanes más anchos del Ecuador, se erige sobre un basamento metamórfico Mesozoico y una secuencia vulcano-sedimentaria Cenozoica (Litherland et al, 1994).

**Grafico 6.** Volcánicos cuaternarias



**Fuente:** Estudio de Pre factibilidad del Proyecto Hidroeléctrico Quijos. 2000

La génesis del magma del Antisana está bastante influenciado por silicatos relacionados con la subducción de la placa de Nazca. Las lavas de este volcán varían en composición desde andesitas máficas hasta dacitas altamente evolucionadas, forman estructuras columnares típicamente basálticas de color negro a gris verdusco, sujetas al intemperismo adquieren un color rojo-amarillento, su textura que generalmente es afanítica cambia en otros sitios a hialopilitica con pigmentos blancos de feldespatos alterados, hornblenda y vidrio volcánico. Yace en forma discordante sobre las rocas metamórficas de la cordillera real, en parte están cubiertas por depósitos cuaternarios.

Se caracterizan por una mineralogía extraordinariamente homogénea, con la inclusión de fenocristales de plagioclasas, clino y ortopiroxeno, así como ilmenita y magnetita. En contraste con la mayoría de las series calco-alcalinas, el anfíbol está ausente. La textura de las lavas es fundamentalmente porfirítica. ( Battaglia, 2015)

### 3.3.2. Geología del cuaternario

La geología del cuaternario de la región ha sido configurada básicamente con el concurso de tres factores: (1) tasa de levantamiento del basamento o Cordillera Real, (2) actividad volcánica cuaternaria y (3) erosión fluvial.

Si bien, al inicio de los estudios no se consideró relevante hacer el levantamiento geológico de los depósitos vulcano sedimentarios cuaternarios, en la etapa constructiva el hecho tomó gran importancia, pues, los túneles atravesarían por debajo de una meseta en la que se identifican los paleo cauces de los ríos Quijos y Papallacta. Con el objeto de definir la geología a detalle de la zona se contrataron consultorías con geólogos italianos, quienes lograron diferenciar hasta nueve unidades geológicas del cuaternario, cuya descripción, partiendo desde la más reciente, se expone a continuación.

#### 1. Q1a – Depósitos aluviales

Los depósitos aluviales corresponden a los sedimentos depositados y removidos por los ríos Quijos y Papallacta dentro de sus cauces actuales. Son suelos constituidos por bloques de hasta 5 m<sup>3</sup> y guijarros redondeados de naturaleza principalmente metamórfica pero también volcánica. En algunos lugares se observa una matriz compuesta por arena y gravas sueltas.

#### 2. Q1t - Depósitos aluviales terrazados

A lo largo de los ríos mencionados se identificó la presencia de depósitos producidos por eventos aluviales más antiguos que generaron el depósito de terrazas a un mayor nivel junto a los cauces. Están constituidas por guijarros y bloques de hasta uno y dos metros cúbicos, de naturaleza tanto volcánica como metamórfica en una matriz de arena y grava con un grado de cementación mediano a bajo (*clast supported*).

#### 3. Q1b – Depósitos de abanico

Son materiales depositados a la salida del río Cuyuja hacia el Papallacta, cubren un área más o menos extensa con su forma clásica de abanico sobre el que se ha establecido la población de Cuyuja, está constituido por bloques y guijarros heterogéneos en matriz granular de grava y arena.

#### **4. Q2 – Toba**

Cubre uniformemente la parte superior de la meseta de “Huila - La Esperanza”. Se pueden observar sus características estratigráficas tanto en el cauce de la quebrada Cambuyacu, como a lo largo de las excavaciones realizadas para la apertura del camino a la obra de toma Quijos.

La unidad está conformada por tobas, resultado de la caída de cenizas volcánicas expulsadas durante las fases eruptivas ácidas del volcán Antisana. Su espesor máximo definido con base en los sondeos, alcanza de 15 a 20 m. Tiene una fina estratificación sub-horizontales, de limo, limo arenoso y limo arcilloso plástico, de compactación entre media y elevada. Es de un color marrón claro y beige. La meteorización ha alcanzado los primeros 4 a 5 m del depósito.

#### **5. Q3 – Secuencia Vulcano-sedimentario**

La unidad Q3 comprende los flujos volcánicos y depósitos sedimentarios conexos con las erupciones cuaternarias del volcán Antisana. Esta unidad, conocida también como “flujo de Cuyuja” (Pleistoceno Superior), rellenó los paleo cauces de los ríos Papallacta y Quijos, cubriendo a manera de una discordancia estratigráfica los sedimentos pre-volcánicos Q4, y el basamento metamórfico.

La secuencia volcánico-sedimentaria se extiende en el área del proyecto principalmente a lo largo de la meseta Huila-La Esperanza, debajo de la unidad Q2, y aflora en las laderas que bordean la meseta.

Está constituida por varios flujos decamétricos de lava basáltica intercalados con sedimentos aluviales y de lahares. El espesor promedio está entre 250 y 300 m, con un máximo posible de hasta 400 m a lo largo del túnel Quijos.

## **6. Q31 – Lavas masivas**

La primera, denominada Q31, está compuesta por flujos de lavas masivas de basalto tanto olivínico como andesítico y andesita-basáltica de coloración variable entre gris claro y negro. Las lavas tienen una textura porfirítica, de grano fino a mediano, heterogranular, con masa basal de vidrio volcánico y fenocristales, compuestos especialmente por plagioclasa y piroxenos con bajo porcentaje de olivino. Además es posible identificar la presencia de vesículas de hasta 1 cm distribuidas en la masa.

Las lavas están sujetas a fracturación columnar causada por el enfriamiento del flujo, las columnas tienen sentido vertical en relación con el centro de la corriente y un tanto horizontal hacia la base y a la parte superior del flujo. Las juntas tienen forma planar y lisa, raramente rugosa, muestran persistencias lineales por algunos metros. En los sondeos las lavas se manifiestan generalmente frescas o poco meteorizadas, en ciertos casos las juntas tienen rellenos de material limoso y con oxidaciones.

En la base de las estratigrafías alcanzadas por los sondeos, la subunidad Q31 constituye el 54,5% del espesor total de la secuencia vulcano-sedimentaria, mientras el espesor promedio de los flujos es de 15,3 m.

## **7. Q3e - escorias**

La segunda sub-unidad, denominada Q3e, está conformada por escorias volcánicas, clasto-lavas con bloques soldados y aglomerados volcánicos. Las escorias presentan una textura porosa, vacuolar y vidriosa con aspecto arrugado, su color varía entre gris y negruzco. Se distinguen clastos brechados de hasta 40 y 50 cm cementados por material arenoso bien soldados. Generalmente la resistencia y la compactación son muy altas, a pesar de que en los sondeos se identificaron algunos tramos débiles y meteorizados, convertidos a arena. En ciertos planos de las fracturas se ha podido observar oxidación y rellenos arenoso-limosos.

Por el sitio de la toma del río Quijos y a lo largo del camino a la ventana 4, se presentan extensos afloramientos con bancos intercalados de lava masiva.

Con base en las estratigrafías observadas en los sondeos, se calcula que la subunidad Q3e constituye el 38,4% del espesor total de la secuencia vulcano-sedimentaria, mientras que el espesor promedio de los estratos brechados es de 14,7 m.

## **8. Q3i – Sedimentario entre volcánico**

La tercera y última sub-unidad, identificada con el código Q3i, comprende lahares y sedimentos aluviales que se depositaron en antiguos cauces excavados entre los diversos flujos de lava. Tales depósitos fueron identificados a través de sondeos y en un afloramiento que se encuentra a lo largo del camino a la toma Quijos. Se caracterizan por presentar una gran variedad de granulometrías, desde bloques hasta arenas y se muestran distribuidos en estratos y lentes.

Casi en su totalidad los lahares se encuentran conformados por clastos y bloques de origen volcánico, redondeados y englobados en una matriz arenosa-limosa de color marrón. En las perforaciones cuando se atraviesa por tramos donde la matriz es floja o débil, solamente se recuperan clastos.

Los depósitos aluviales se presentan como lentes bien seleccionados de gravas y arenas, con cementación mediana a baja e incluso, en algunos casos, sin ella.

A la sub-unidad Q3i también pertenecen los paleosuelos, constituidos por sedimentos meteorizados de coloración marrón rojiza, se han formado in situ durante períodos de estabilidad tectónica y consecuente baja sedimentación, pueden alcanzar algunos metros de espesor. Es posible además, que en la secuencia vulcano-sedimentaria se encuentren depósitos lacustres, que no fueron observados.

En la base estratigráfica de los sondeos, la subunidad Q3i constituye el 7,2% del espesor total de la secuencia vulcano-sedimentaria, en tanto que el espesor promedio de los depósitos es de 8,6 m.

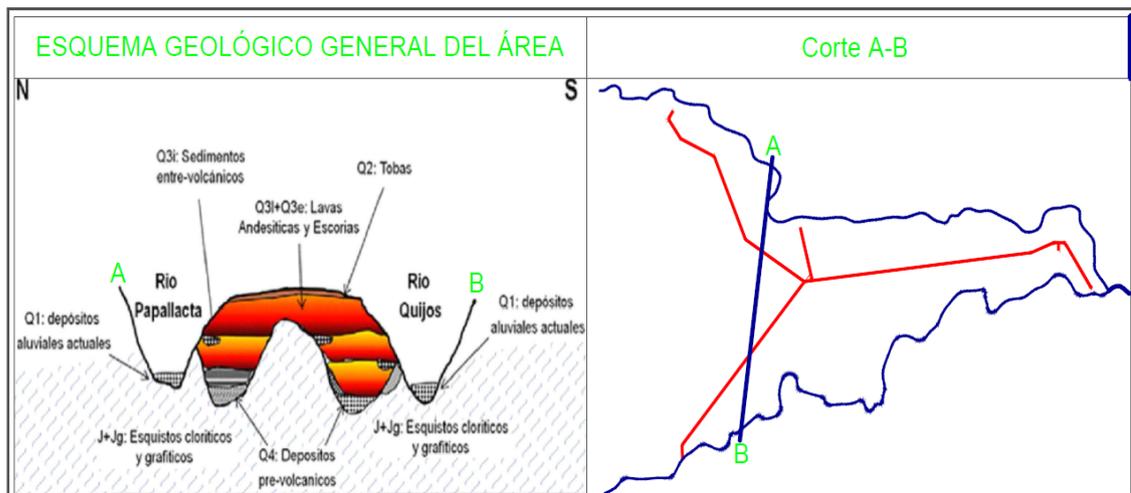
## **9. Q4 – Depósitos pre-volcánico**

Son los materiales cuaternarios más antiguos de la unidad vulcano sedimentaria, incluyen sedimentos de variada procedencia y ambiente: aluvial, lacustre, derrumbes, ladera, lahares, coluviales y posiblemente también de glaciares. Se trata de suelos depositados sobre el basamento metamórfico a lo largo de los paleocauces y paleoladeras de los ríos Quijos y Papallacta, que luego fueron cubiertos o sepultados casi totalmente por los flujos de lava.

Se los observa casi exclusivamente en sitios donde se han realizado excavaciones para las obras, a lo largo del camino hasta la toma Quijos, al oeste de la pared de escalada en Cuyuja, frente al portal de la Ventana 2 y en el camino para la Ventana 3. La mayoría los depósitos pre-volcánicos fueron descubiertos durante la excavación de las Ventanas y del Túnel de Papallacta, y fueron la causa de varios problemas de estabilidad; de hecho, los pocos sondeos que atravesaron estos depósitos tuvieron varios tramos con baja o ninguna recuperación.

### **3.3.3. Resumen del modelo geológico cuaternario**

Los cauces fueron excavados en roca metamórfica (J: esquistos clóricos y Jg: esquistos grafiticos) y luego rellenados, desde hace más de 45 000 años, rellenados por flujos de lavas originados por el Volcán Antisana, dando lugar a la conformación de la secuencia vulcano-sedimentaria (Q3) constituida por lavas (Q3l), escorias (Q3e) y sedimentos intravolcánicos (Q3i). Entre la roca metamórfica y la secuencia vulcano-sedimentaria se encuentran los sedimentos pre volcánicos (Q4), constituidos por depósitos: lagunares, de ladera, de derrumbe y aluviales, que se los representa en el esquema. ( Battaglia, 2015) **Ver Anexo B.- Mapa Geológico del área de estudio.**

**Grafico 7.** Mapa geológico del área de estudio

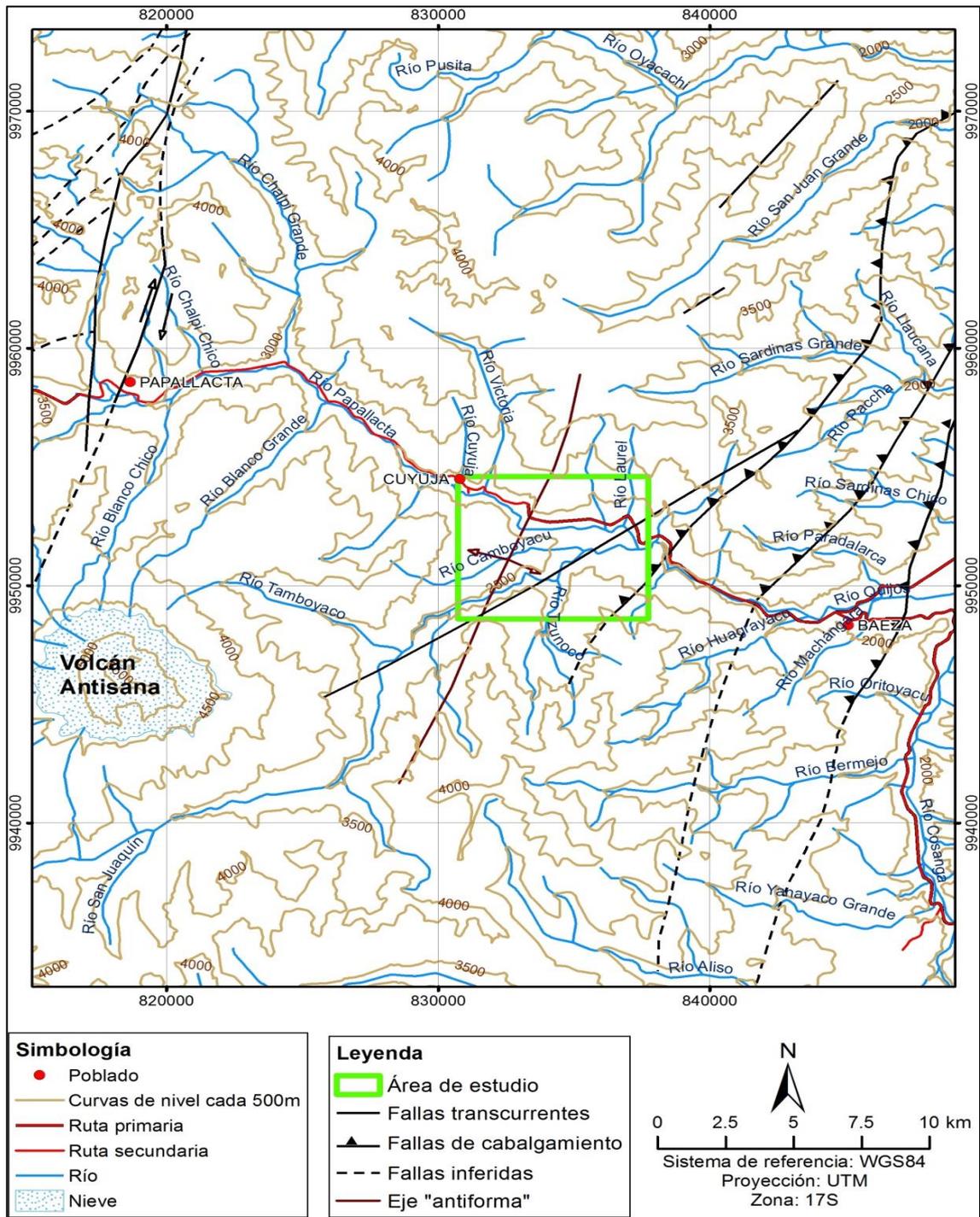
Elaborado por: Ramón, E. (2015)

### 3.4. ESTRUCTURAS

Las principales estructuras geológicas en el área de estudio corresponden a fallas inversas de tras arco, originadas por el proceso de subducción de la Placa Oceánica Nazca en la Placa Continental de América del Sur. Como parte de estas estructuras algunos autores nombran a la Falla Subandina, entre Cuyuja y Baeza que se encuentra afectando a los terrenos de la Unidad Upano, igualmente la falla Cosanga, ubicada hacia el oriente de Baeza y controla el curso del río Quijos en sentido aproximado norte 30 grados este, provoca el contacto entre rocas del Grupo Margajitas y rocas volcánicas continentales ubicadas hacia el oriente.

Todas estas fallas (inversas) buzcan hacia el oeste y constituyen planos de cabalgamiento o sobre corrimiento de oeste a este, de cuyos procesos han quedado algunos remanentes o relictos conocidos como napas. En los trabajos de fotointerpretación realizados para la zona, se han identificado únicamente segmentos de falla que posiblemente son parte de las fallas regionales nombradas. (Grafico 8).

**Grafico 8.** Mapa de principales estructuras Geológicas



Fuente: Estudio de factibilidad PHQ – B 2010.

#### **IV. GEOLOGÍA Y GEOTECNIA DEL ÁREA DE ESTUDIO**

En el área de estudio desde del año 2000 hasta el fin del año 2013 se realizaron 34 perforaciones, verticales e inclinadas, con recuperación de testigo, ubicados en superficie, en los túneles y ventanas. Las empresas contratistas fueron Higgeco y Geosuelos de Ecuador.

Las investigaciones realizadas están constituidas por:

- 34 perforación con recuperación de testigo con una longitud total de 3577m;
- Ensayos de laboratorio sobre 152 muestras de roca.
- Análisis petrográficos sobre láminas delgadas;
- Varias investigaciones geofísicas de sísmicas de refracción y de magneto telúrica.
- 58 pruebas de permeabilidad Lugeon
- 26 pruebas del tipo Lefranc
- 2 pruebas de hidrogateo.
- Levantamiento geotécnico de los frentes de excavación de los túneles, comprendiendo el túnel del cercano Proyecto Victoria.

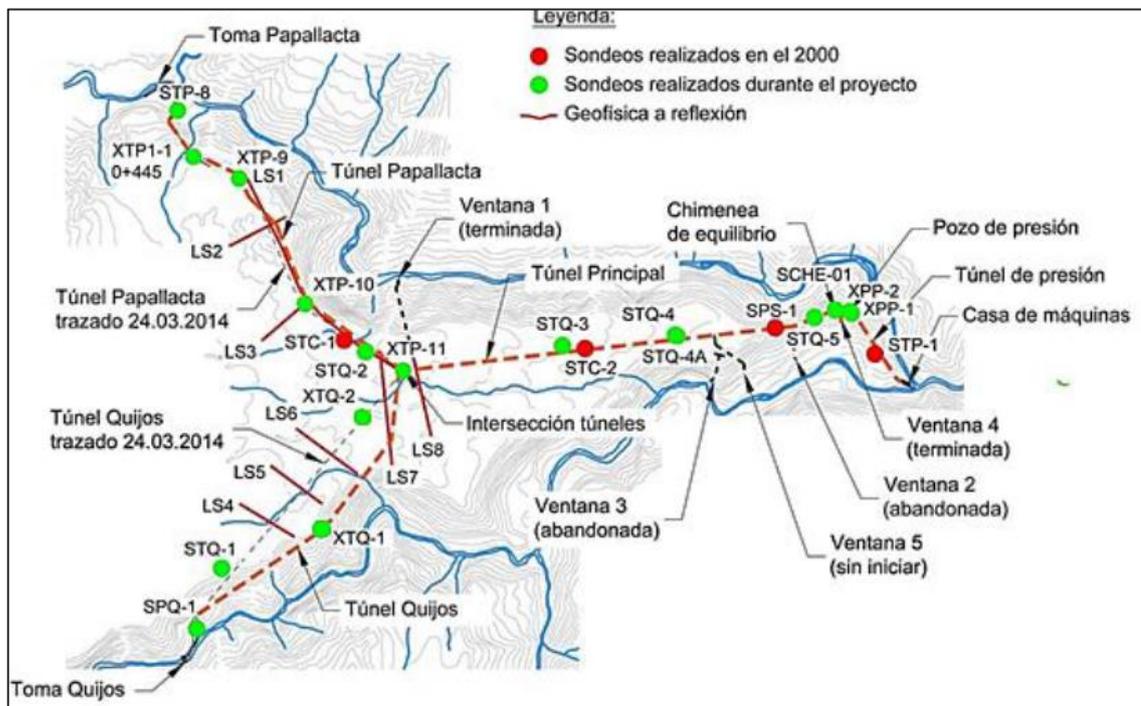
Hay que mencionar que todos estos estudios se realizaron en todo el proyecto, en mención al Pozo de presión solo se realizó el sondeo, pruebas de permeabilidad y otras unidades Geotécnicas.

Al final del año 2013 el proyecto necesitó una revisión global debido a la existencia de paleo cauces de los ríos Papallacta y Quijos, los cuales estaban asociados a rocas y suelos de mala calidad con elevadas filtraciones de agua.

La definición del nuevo esquema para el proyecto hidroeléctrico ha necesitado la realización de una serie de investigaciones adicionales constituidas por: perforaciones con recuperación de núcleo, donde está incluida la perforación XPP-02, ensayos de permeabilidad in situ, pruebas geotécnicas en laboratorio, líneas geofísicas de sísmica de reflexión y dataciones por radiocarbono (C14).

El pozo depresión se conecta entre el túnel principal y túnel de presión, formando un ángulo de  $90^\circ$ , entre las cotas 2209, 51 msnm (túnel principal) a 2078, 82 msnm (túnel de presión) uniéndose en la abscisa 3+526,55. El Túnel Principal se extiende a partir de la intersección con el Túnel Quijos y Papallacta con una longitud de 3540m, pasando por la Chimenea de Equilibrio, hasta el Pozo de Presión. En el esquema actual el Túnel Principal se ha movido ligeramente hacia el sur, para alejarse de la paleo-ladera ubicada más al Norte. En la siguiente figura se ilustra un perfil geológico del túnel principal y su ubicación del pozo de presión. (Boar de expertos, 2014)

**Grafico 9.** Sondeos previos en todo el proyecto



**Fuente:** Bataglia (2012). *Informe Geotécnico para el nuevo trazado*

#### 4.1. LOGEO DEL SONDEO XPP-02

La perforación XPP-2 está ubicada al final del túnel Principal y fue perforado dentro del túnel, en el eje del pozo de presión, a partir de la cota de 2209.51 msnm, con 130,69 m de profundidad, comprendido entre las cotas 2209.51 msnm hasta la 2078,82 msnm en las siguientes coordenadas: 9 952 484 N; 837 115 E. Se perforó en 21 días, desde el 03 de junio hasta el 24 de junio del 2014 y fue realizado por las Empresa HIGGECO. Por las dificultades que se presentó en el sondeo fue cementado hasta 54.75 m de

profundidad y revestido hasta 114.30 m, apenas a 16 m del final del mismo, así como la suspensión de la perforación por voladuras dentro del túnel.



**Fotografía 1.** Intersección de Túneles: Venta N°4 y principal que conduce al pozo de presión



**Fotografía 2.** Ejecución del sondeo XPP-2, codo superior

El sondeo XPP-2 atravesó Rocas volcánicas, Brechas y Rocas metamórficas. Respetando la secuencia encontrada en la perforación se tiene lo siguiente:

#### **4.1.1. Rocas volcánicas (0,00 – 16,00 m); e = 16,00 m.**

**0,00 – 14,10 m:** LAVAS BASALTO ANDESITICAS, color gris, ligeramente meteorizadas y tramos de roca sana a fresca, a partir de los 9,40 m roca muy fracturada al inicio y fracturada al final del tramo indicado. Las fracturas son en su mayoría subhorizontales y en sus planos contienen muy esporádico limo. A partir de los 5,25 m se destaca la presencia de fracturas verticales con abundantes óxidos y limo.

**14,10 – 16,00 m:** ESCORIA BASALTICA de color gris, de mediana a altamente meteorizada, con gran cantidad de vesículas o poros, muy fracturada, con planos que contienen abundantes óxidos y limo. (Estudios de Hidrogeología, Geología y Geotécnia. HIGGECO, 2014)

#### **4.1.2. Brecha (16,00 - 42,10m); e=26,10m**

Fragmentos de lavas volcánicas (Andesitas basálticas y escorias) y de rocas metamórficas (esquistos micáceos y cuarcíticos) en matriz arenosa limosa, micácea.

Fracción Gruesa: compuesta por gravas y bloques de origen tanto volcánico como metamórfico. Los tamaños de los bloques varían entre 7 y 45 cm.

Las gravas son de tamaños que fluctúan entre 1 y 6 cm tanto volcánicas como metamórficas, con formas subangulosas.

Tanto los bloques como las gravas se encuentran débilmente cementados por una matriz areno-limosa, la misma que se lava por la rotación y el agua que se utiliza para perforar.

Presencia esporádica de mineralización de sulfuros: pirita y calcopirita. (Estudios de Hidrogeología, Geología y Geotécnia. HIGGECO, 2014)

#### **4.1.3. Rocas metamórficas (42,10 – 130,65 m); e = 88,55 m.**

**42,10 - 65,00m:** ESQUISTO CUARZO SERICITICO de color gris verdoso, presenta 3 estados de meteorización: mediana, altamente y completamente meteorizados y fracturado a extremadamente fracturado y fragmentados en determinados tramos. En la roca se intercala una brecha con gravas metamórficas (55,00-59,60m) débilmente cementada por una matriz areno limosa de color gris oscuro.

**65,00m - 83,00m:** ESQUISTO CUARZO GRAFITICO de color gris negruzco con manchas blanquecinas de cuarzo y carbonato de calcio. La roca se encuentra alta a completamente meteorizada. La fuerte meteorización ha transformado a la roca, la misma que se destruye con la rotación y el agua de la perforación quedando una arena de color gris oscuro con algunos fragmentos de cuarzo color blanco. La calidad de la roca RQD es muy baja y el espaciamiento es muy estrecho. El  $\text{CaCO}_3$  se encuentra también diseminado en toda la roca.

**83,00 – 96,90m:** ESQUISTO CUARZO SERICITICO color gris, de alta a completamente meteorizado, extremadamente fracturado y fragmentado. La fuerte meteorización ha transformado a la roca, la misma que se destruye con la rotación y con el agua que se utiliza al perforar, quedando una arena de grano fino a grueso color marrón grisáceo, con los fragmentos más claros y resistentes (esquistos cuarcíticos). Se destaca también la presencia de  $\text{CaCO}_3$  en pequeñas vetillas y diseminado en toda la muestra.

**96,90 – 99,80 m:** ZONA DE FALLA: MILONITA: Consiste de limo arcilloso color gris negruzco, con esporádica graba fina. A la base arcilla limosa color gris claro.

**99,80 – 119,60m:** ESQUISTO CUARZO SERICITICO color gris, mediana, alta y completamente meteorizado, en determinados tramos muy fracturado a extremadamente fracturado y fragmentado. Presencia de pequeños niveles de esquisto grafitoso, color negro altamente meteorizado.

Presencia de  $\text{CaCO}_3$  en forma diseminada en toda la muestra y en pequeñas vetillas color blanco.

La calidad de la roca (RQD) es muy bajo y el espaciamiento es muy estrecho y estrecho, aunque a partir de las 113,50 la calidad de la roca (RQD) y el espaciamiento mejoran.

**119,60 – 130.65m:** ESQUISTOS MICACEOS de color gris verdoso, roca sana, sin fracturas naturales, las que se observan en los núcleos son fracturas mecánicas, producidas por el manipuleo de la roca al ser colocada en las cajas porta testigos. Entre las micas que se presentan, se destacan sericita, moscovita y esporádica clorita. Se destacan también manchas de cuarzo muy duras y resistentes. El carbonato de calcio esta diseminado en toda la muestra y en vetillas pequeñas de color blanco. (Estudios de Hidrogeología, Geología y Geotécnia. HIGGECO, 2014). **Ver Anexo B.- Descripción Geológica del sondeo XPP-02**

**Cuadro 3.** Clasificación litológica

Tipo de roca	Desde (m):	Hasta (m):	Tipo de roca	Desde (m):	Hasta (m):
Andesita Basáltica	0.00	42.10	Lava Basalto - Andesítica	0.00	14.10
			Escoria Basáltica	14.10	16.00
			Brecha volcánica	16.00	42.10
Esquisto Micáceo	42.10	130.65	Esquisto Micáceo con grafito	42.10	65.00
			Esquisto Micáceo	65.00	83.00
			Esquisto Cuarzo-Sericítico	83.00	96.90
			Zona de falla	96.90	99.80
			Esquisto cuarzo sericítico	99.80	119.60
			Esquistos micáceos	119.60	130.65

**Fuente:** Higgeco (2014). *Informe Geotécnico del sondeo XPP-02*

#### 4.1.4. Nivel del agua del sondeo

Los niveles mínimos y máximos corresponden a 12,50 y 76,55 m respectivamente.

La distribución de los datos por fechas, pueden revisarse en forma detallada en el cuadro 4, que corresponden a todos los niveles de agua medidos al inicio de las jornadas diarias de perforación.

En los reportes de perforación se indica un flujo de agua subterránea al final de sondeo. (Estudios de Hidrogeología, Geología y Geotécnia. HIGGECO, 2014)

**Cuadro 4.** Medidas del nivel de agua en el sondeo XPP-02

FECHA	HORA	PROF (m)	REVESTIMIENTO (m)	NIVEL (m)
Hasta 30.75 el sondeo estuvo seco				
10/06/2014	9:05	42.75	42,40	12,50
11/06/2014	12:50	54.75	42,40	12,50
12/06/2014	7:30	54.75	42,40	18,20
13/06/2014	7:35	57.70	42,40	24,70
14/06/2014	7:20	66.25	66.25	36,15
15/06/2014	7:20	73.00	66.25	52,45
16/06/2014	7:20	73.00	72,45	68,30
17/06/2014	7:30	77.50	78,45	72,20
18/06/2014	7:25	87.30	81.45	76,55
20/06/2014	7:15	90.30	82.95	72,20
21/06/2014	7:20	90.30	87.45	72,20
22/06/2014	7:30	94.00	93,45	73,20
23/06/2014	7:25	102.40	93,45	73,50
24/06/2014	7:25	119.50	93,45	74,50

**Fuente:** Higgeco (2014). *Informe Geotécnico del sondeo XPP-02*

## 4.2. REGISTRO GEOTÉCNICO DEL SONDEO XPP-02.

### 4.2.1. Velocidad de perforación

La velocidad de avance es un parámetro muy importante para la interpretación de la presencia de fallas y/o cambio brusco a un material blando ya que en dependencia de estas la velocidad aumenta o disminuye, estos datos se exponen a continuación:

**Cuadro 5.** Velocidad de perforación sondeo XPP-02

LEYENDA	Todo el Sondeo 130.65 m		Tramo Volcánico 42.10m		Tramo Metamórfico 88.55 m	
	Longitud (m)	Porcentaje	Longitud (m)	Porcentaje	Longitud (m)	Porcentaje
Muy Rápida (> 4 cm/min.)	115.65	88%	32.45	76%	83.15	95%
Rápida (3.1 - 4 cm/min.)	11.35	9%	7.0	17%	4.5	4%
Media (2.1 - 3 cm/min)	3.65	3%	2.65	7%	0.9	1%
Lenta (1.1 - 2 cm/min.)	-	-	-	-	-	-
Muy Lenta (0.1 - 1 cm/min.)	-	-	-	-	-	-
	130.65	100%	42.10	100%	88.55	100%

**Fuente:** Higgeco (2014). *Informe Geotécnico del sondeo XPP-02*

El 88% del sondeo ha tenido una velocidad de avance rápida muy rápida, con velocidades superiores a los 16 cm/minuto en tramo volcánico y de 16 cm/minuto en tramo metamórfico.

Cuando se estudian por separado los dos materiales se observa muy claramente que casi en su totalidad ha requerido altas velocidades de perforación lo que determina que los tramos volcánicos y metamórficos son de menor dureza.

El macizo metamórfico ha sufrido cambios bruscos en la velocidad de avance, lo cual evidencia de la existencia de importantes zonas falladas milonitizadas. Cabe destacar que un solo el 12% de los materiales volcánicos han tenido una rápida a mediana velocidad de perforación, esto se debe al alto grado de meteorización de las rocas volcánicas y rocas metamórficas falladas.

La recuperación de testigos total del sondeo según el registro de la perforista tiene una mediana de 74%, sin embargo estos valores no son reales debido a que en varios tramos se observa arena, la cual es imposible de recolectar en la perforación, de

tal manera que la recuperación debe ser menor al 50%. (Estudios de Hidrogeología, Geología y Geotécnia. HIGGECO, 2014)

#### 4.2.2. RQD (Índice de calidad de roca)

Los resultados del índice de calidad de roca en el sondeo XPP-02, se expresa en porcentaje, es decir en este caso un porcentaje mayor al 58% es sinónimo de muy baja calidad del macizo rocoso. Estos datos se exponen a continuación:

**Cuadro 6.** Resumen RQD de sondeo XPP-02

RQD	Longitud (m)	Porcentaje
Excelente (> 90 - 100%)	13.60	8%
Buena (> 75 - 90%)	3.40	4%
Regular (> 50 - 75%)	22.00	16%
Baja (> 25 - 50%)	17.45	14%
Muy baja (> 0% - 25%)	74.25	58%
<b>TOTAL:</b>	<b>130.65</b>	<b>100%</b>

**Fuente:** Higgeco (2014). *Informe Geotécnico del sondeo XPP-02*

Vale resaltar que el 58% del total del sondeo XPP-02 tiene un RQD inferior a 25%, esto es, una roca de muy pobre calidad geomecánica, independiente de si es volcánica o metamórfica.

Esta situación indica claramente que el macizo rocoso donde será excavada la tubería de presión, presenta importantes problemas geológicos que requerirá cambio de diseño y métodos constructivos especiales. (Estudios de Hidrogeología, Geología y Geotécnia. HIGGECO, 2014)

#### 4.2.3. Meteorización

Este es un parámetro que se lo registra en base a observaciones visuales del sondeo y nos permite determinar otras propiedades físicas de la roca.

La meteorización representa la respuesta de minerales que estaban en equilibrio a profundidades variables en la litosfera sometidas a condiciones de la superficie terrestre o cerca de esta. En este lugar los minerales entran en contacto con la atmósfera, hidrosfera y biosfera originando cambios, generalmente irreversibles, que los tornan hacia un estado más clástico o plástico de manera que aumenta el volumen, disminuye la densidad y el tamaño de las partículas además de formarse nuevos minerales que son más estables bajo las condiciones de interface. (Chorley, 1984, Geomorphology pag. 605).

A continuación se presentan los datos de la meteorización del sondeo:

**Cuadro 7.** Meteorización de la roca en el trazado de la tubería de presión

Meteorización	Longitud (m)	Porcentaje
Roca fresca	8	6%
Ligeramente Meteorizada	14	11%
Moderadamente Meteorizada	19.65	15%
Altamente Meteorizada	41	32%
Completamente Meteorizada	48	36%
	130.65	100%

**Fuente:** Higgeco (2014). *Informe Geotécnico del sondeo XPP-02*

Realizando el análisis del sondeo se puede determinar que el 68% de los 130.65 m perforados está altamente y completamente meteorizado, en cambio roca fresca y ligeramente alterada es apenas el 17% y el 15% restante es moderadamente alterada. Por lo que podemos concluir que el macizo rocoso a lo largo de la tubería de presión tiene un alto porcentaje (68%) de roca altamente y completamente alterado. (Estudios de Hidrogeología, Geología y Geotécnia. HIGGECO, 2014)

#### 4.2.4. Espaciamiento

El espaciamiento es la separación entre dos planos de discontinuidad y refleja la buena o mala calidad del macizo rocoso. Una discontinuidad es cualquier plano de origen mecánico o sedimentario que independiza bloques de roca intacta en un macizo rocoso. Un macizo rocoso cuyas fracturas o planos de discontinuidad estén más

separados refleja mejores condiciones Geomecánicas que un macizo cuyos planos de debilidad estén muy poco separados, puesto que dicha separación va a condicionar el tamaño de los bloques y por tanto el comportamiento mecánico del macizo rocoso (más separación, bloques más grandes; menos separación, bloques más pequeños). Estos datos se exponen a continuación:

**Cuadro 8.** Espaciamiento de las discontinuidades sondeo XPP-02

Espaciamiento		
	Longitud (m)	Porcentaje
Muy amplio (>2000 mm)	6.53	5%
Amplio (601-2000mm)	9.14	7%
Moderada (201-600mm)	19.60	15%
Estrecho (60-200mm)	40.50	31%
Muy estrecho (<60mm)	54.87	42%
	130.65	100%

**Fuente:** Higgeco (2014). *Informe Geotécnico del sondeo XPP-02*

Para el caso presente, la empresa perforista ha considerado como extremos una clase superior con separación mayor a 2000 mm y una clase inferior, por debajo de 60 mm, teniendo así tres clases intermedias.

En todo el tramo perforado de 130 m, se observa que apenas un 31% del macizo rocoso tiene separaciones entre 60 a 200 mm, con un importante 42% de discontinuidades separadas por menos de 60 mm.

Las rocas metamórficas tienen espaciamientos menores a 60 mm, lo cual es bastante normal por la esquistosidad.

Estos porcentajes de espaciamiento (o tamaño de los bloques más pequeños) tendrán directa relación con los volúmenes de inyección que deberían realizarse en la fase constructiva, para mejoramiento del macizo rocoso de la tubería de presión. (Estudios de Hidrogeología, Geología y Geotécnia. HIGGECO, 2014)

### 4.3. CARACTERIZACIÓN GEOLÓGICO – GEOTÉCNICO

Para la caracterización geotécnica del Macizo Rocosó se implementara la Clasificación RMR en base a los datos obtenidos del sondeo XPP-02.

La clasificación geomecánica RMR (Rock Mass Rating), también conocida como clasificación geomecánica de Bieniawski, fue presentada por el Ingeniero Bieniawski en 1973 y modificada sucesivamente en 1976, 1979, 1984 y 1989. El RMR permite hacer una clasificación práctica de las rocas y estimar el tiempo que se puede permanecer sin sostenimiento y longitud recomendada de un vano. Se utiliza usualmente en la construcción de túneles, de taludes y de cimentaciones.

El RMR se obtiene estimando cinco parámetros: (T., 1989)

#### 4.3.1. Resistencia a la compresión uniaxial.

Estos ensayos tienen por objeto medir la resistencia a la compresión de una muestra de ensayo cilíndrica con el propósito de clasificar y caracterizar la resistencia de la roca matriz.

En función de la resistencia de la muestra Bieniawski asigna un puntaje como se indica a continuación: (T., 1989)

**Cuadro 9.** Resistencia a la compresión uniaxial.

Resistencia de la roca a compresión uniaxial	>250 (MPa)	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

Fuente. (Clasificación Bieniawski)

#### 4.3.2. RQD (Rock Quality Designation)

El índice RQD desarrollado por Deere, se define como el porcentaje de recuperación de testigos de más de 10 cm de longitud (en su eje) sin tener en cuenta las roturas frescas del proceso de perforación respecto de la longitud total del sondeo.

En función del índice de calidad de la muestra Bieniawski asigna un puntaje como se indica a continuación: (T., 1989)

#### **Cuadro 10. RQD**

RQD	100-90%	90-75%	75-50%	50-25%	<25%
Puntaje	20	17	13	8	3

Fuente (Clasificación Bieniawski)

#### **4.3.3. Separación entre las discontinuidades**

Es la separación media entre discontinuidades adyacentes y controla el tamaño de bloques individuales de material rocoso. Cuando el espaciamiento es muy denso tiende a presentarse condiciones de baja cohesión de masa, mientras que si es amplio la condición de entrapamiento de bloques es por lo general favorable.

En función del espaciamiento entre discontinuidades Bieniawski asigna un puntaje como se indica a continuación: (T., 1989)

#### **Cuadro 11. Espaciado entre las discontinuidades**

Espaciado entre las discontinuidades	>2 m.	0,6 -2 m.	200-600 mm.	60-200 mm.	<60 mm.
Puntaje	20	15	10	8	5

Fuente (Clasificación Bieniawski)

#### **4.3.4. Condiciones de las discontinuidades**

Representa en qué condiciones se encuentra la discontinuidad en función a 5 factores:

1. Persistencia: Este factor está relacionado con el grado de continuidad de las diaclasas; en promedio determina la extensión para la cual el material rocoso y la diaclasa afectan separadamente las propiedades mecánicas de la masa.

2. Separación: Es la distancia perpendicular que existe entre las paredes de la diaclasa.
3. Rugosidad: Las discontinuidades estructurales de los macizos de roca dura, no son planas y lisas: Presentan irregularidades visibles o sensibles al tacto.
4. Relleno: Las diaclasas pueden estar completamente cerradas o presentar diferentes grados de abertura y en los espacios abiertos generalmente se aloja material extraño que afecta de manera variable la resistencia al corte a lo largo de una discontinuidad.
5. Meteorización: Corresponde al proceso destructivo, por el cual la roca cambia, al estar expuesta a los agentes atmosféricos en o cerca de la superficie de la tierra, y comprende una desintegración física y una descomposición química de la roca. (T., 1989)

**Cuadro 12.** Condiciones de las discontinuidades

Condición de las Discontinuidades						
		<1m	1-3m	3-10m	10-20m	>20m
Persistencia	Puntaje	6	4	2	1	0
Separación		<0,1mm	0,1-0,5mm	0,5-2,5mm	2,5-10mm	>10mm
	Puntaje	6	5	4	1	0
Rugosidad		Muy Rugosa	Rugosa	Ligeramente Rugosa	Lisa	Muy Lisa
	Puntaje	6	5	3	1	0
Relleno		Ninguno	Duro <5mm	Duro >5mm	Blando <5mm	Blando >5mm
	Puntaje	6	4	2	2	0
Meteorización		Inalterada	Ligeramente Meteorizada	Moderadamente Meteorizada	Altamente Meteorizada	Descompuesta
	Puntaje	6	5	3	1	0

Fuente (Clasificación Bieniawski)

#### 4.3.5. Presencia de agua freática

En los macizos de roca el flujo de agua está concentrado preferencialmente en las diaclasas abiertas, y las cabezas hidráulicas generadas dependen de la intercomunicación que existe entre las discontinuidades. Es muy común la ocurrencia de fallas, como consecuencia de altas cabezas que operan como cuñas hidráulicas. (T., 1989)

**Cuadro 13.** Agua

Agua (En tramo de 10m)	Completamente seco	Húmedo (<5 lts/seg)	Mojado (5-10 ltrs/seg)	Goteo (10-25 lts/seg)	Flujo (>25 lts/seg)
Puntaje	15	10	7	4	0

Fuente Clasificación Bieniawski)

Finalmente al resultado de cada uno de los parámetros se le asigna, según las tablas, un valor y se suman todos ellos para obtener el índice de calidad RMR sin correcciones.

RMR= Resistencia a la compresión uniaxial + RQD + Abertura + Condición de las discontinuidades + Presencia de agua. (T., 1989)

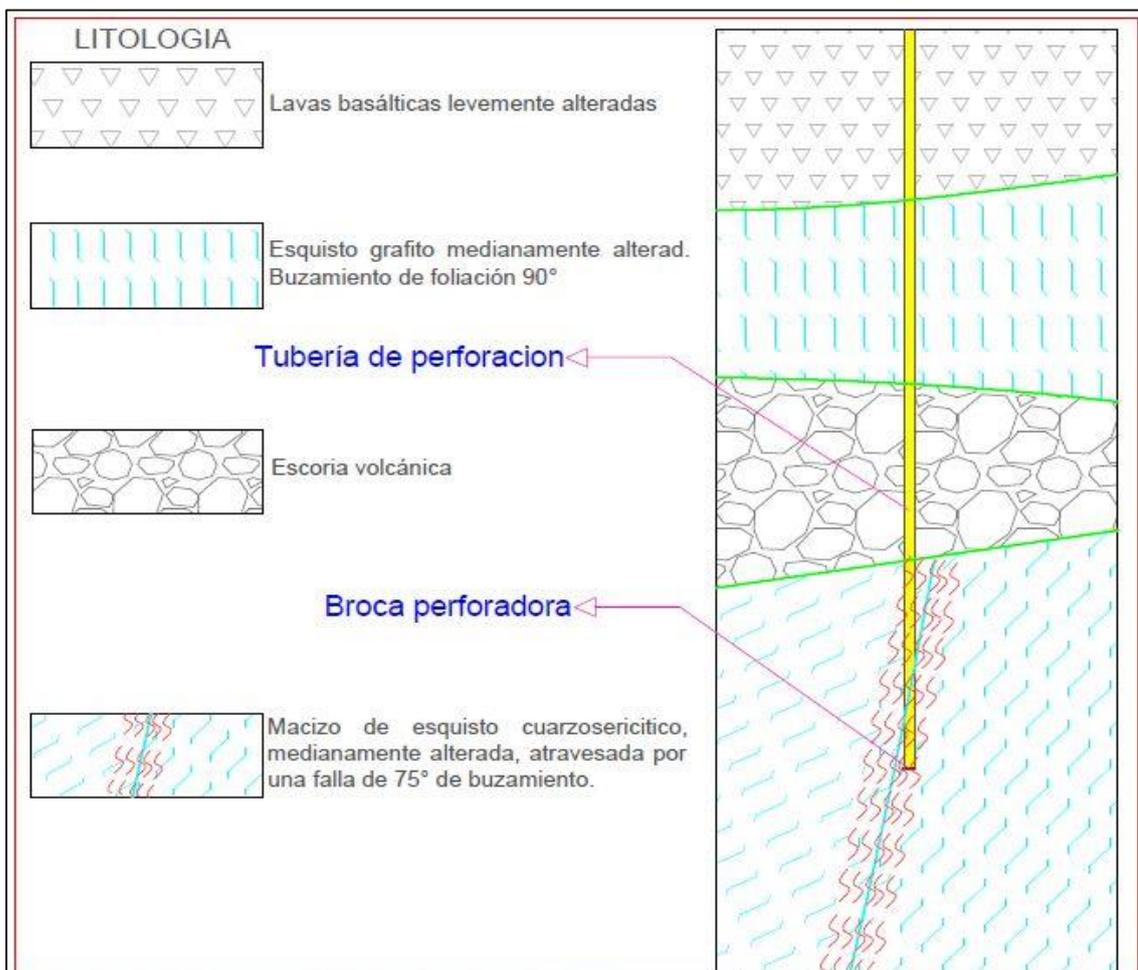
#### 4.4. INTERPRETACIÓN DE MAPEO DE CAMPO A PARTIR DEL SONDEO XPP-2.

Luego de tener una idea general de la litología y clasificación de las características de las unidades geotécnicas (sondeos preliminares), durante la excavación se va haciendo un seguimiento a detalle (mapeo geológico insitu), ahí es cuando se puede definir finalmente la clasificación geo-mecánica del macizo, cabe mencionar que es ciertas ocasiones durante la excavación se suele encontrar con acuíferos o depósitos de suelo que durante los estudios (sondeos) preliminares no se perciben con exactitud, sin embargo como se mencionó anteriormente la geología de la zona está formada por acuíferos y depósitos de arena de forma esporádica, por lo tanto

mientras se da la excavación esta puede cambiar radicalmente. En base a la experiencia por dos años como auxiliar en Geología (construcción de túneles) dentro del proyecto se puede decir que durante la interpretación previa de un sondeo esta no es una interpretación al cien por ciento aceptable en toda la sección a escavar, las más renombrados se da por las siguientes situaciones.

- Diámetro de perforación del testigo vs diámetro de excavación.
- Perforación con dirección paralela a los planos de debilidad, especialmente en rocas sedimentarias y esquistos metamórficos.
- Perforación paralela a una falla (ver figura 10.)

**Grafico 10.** Sondeo paralela a una falla



**Elaborado por:** Ramón, E. (2015)

En la siguiente figura se determina la perforación con recuperación de testigos en diferentes litologías, donde atraviesa por estructuras, fallas y planos sin afectar a la sección completa del área a excavar.

A continuación se realiza una interpretación de mapeo Geotécnico basándose en el sondeo XPP2. **Ver Anexo B.-** Interpretación de mapeo geológico geotécnico.

**Cuadro 14. Hoja Geotécnica Bieniawski**

A. Parámetros de clasificación con sus valores							
Parámetros		Rango de Valores					
1	Resistencia de la roca intacta	> 10MPa	4 – 10 MPa	2 – 4 MPa	1 – 2 MPa	Para 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 (ROD(%))	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							
		A	B	C	D	E	F
4.1	Longitud (Persistencia)		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 abier= 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 σ1)	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	
<b>RMR BASICO</b>		<b>GSI =</b>		<b>RMR AJUSTADO=</b>		<b>CLASIFICACIÓN</b>	
C. Tipos de macizos rocosos determinados a partir de la valuación total							
	Tipos de Roca	I	II	III	IV	V	
	Descripción	Muy buena	Buena	Regular	Mala	Muy 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
Regular (-5)		Desfavorable (-10)		Desfavorable (-10 clave; 0 para hastial)			

Fuente: Fiscalización del Proyecto Hidroeléctrico Quijos 2012.

Para la caracterización geológico - geotécnico del macizo rocoso, se ha realizado la clasificación del mismo dividiéndolo en varios tramos de acuerdo al tipo de roca que se ha encontrado en el sondeo.

**Cuadro 15.** Clasificación Geológico - Geotécnico del sondeo XPP-02

<b>PROFUNDIDAD</b>		<b>NOMBRE DE LA ROCA</b>	<b>ROCA TIPO</b>	<b>DESCRIPCION</b>	<b>COHESION (kPA)</b>
<b>DESDE</b>	<b>HASTA</b>				
0.00	5.00	Lavas basalto andesíticas	II	Buena	300 - 400
5.00	16.00	Escoria Basáltica	III	Regular	200 - 300
16.00	71.00	Brecha volcánica y esquisto cuarzo grafitoso	IV	Mala	100 - 200
71.00	78.00	Esquisto cuarzo grafítico	V	Muy mala	<100
78.00	95.00	Esquisto cuarzo sericítico	IV	Mala	100 - 200
95.00	100.00	Zona de falla	V	Muy mala	<100
100.00	130.00	Esquistos micáceos	III	Regular	200 - 300

**Fuente:** Higgeco (2014). *Informe Geotécnico del sondeo XPP-02*

Al realizar la clasificación del sondeo XPP-02 hemos podido clasificar a la roca en cuatro tipos de roca que son:

**Tipo II:** En este caso la roca permanecerá estable 30 días a 10 meses, y se puede tener tramos de excavados de 5 a 20 m sin sostenimiento.

**Tipo III:** En este caso la roca permanecerá estable 2 días a 1 mes, y se puede tener tramos excavados de 5 a 12 metros sin sostenimiento.

**Tipo IV:** En este caso la roca permanecerá estable 4 horas a 2 días, y se puede tener tramos excavados de 1 a 5 metros sin sostenimiento.

**Tipo V:** En este caso la roca permanecerá estable 1 a 4 horas, se puede tener tramos excavados de 0,5 a 2 metros, para lo cual el sostenimiento debe ser colocado inmediatamente después de la rezaga del material excavado.

## **V. CONSTRUCCIÓN DEL POZO DE PRESIÓN**

La excavación de pozos, vertical o inclinada, está limitada con relación a la utilización de la misma, que se realiza para proporcionar trabajos subterráneos como en minería o llevar a fin a una obra civil. En este caso el pozo a construirse en el proyecto hidroeléctrico quijos tiene como objetivo la conducción de flujo de agua constante en sentido vertical, desde el túnel Principal (codo superior) hasta el túnel de Presión (codo inferior). El método a construir se realizara con el Raise Boring (mecanizado).

### **5.1. SELECCIÓN DEL MÉTODO**

Uno de los principales objetivos para la selección del método, es el análisis previo del tipo de roca a excavar. En el proyecto hidroeléctrico quijos se ha realizado un sondeo XPP-2, donde se analizado detenidamente los parámetros geotécnicos y tipos de litologías a atravesar en el pozo, donde se ha llegado la propuesta de utilizar el método Raise Boring, para su construcción donde se han desglosado en dos categorías distintas:

- Por el tipo de excavación-
- Por el tipo de sostenimiento (viene dado por diseños ya elaborados)

Para el tipo de excavación se han tenido en cuenta dos opciones que son:

- Raise Boring
- Excavación mediante método convencional (voladuras)

### **5.2. GENERALIDADES-RAISE BORING**

El método Raise Boring es una técnica moderna muy difundida en los últimos años, consiste en el corte o escariado de la roca por un equipo mecánico excavado de arriba hacia abajo, como una analogía con una perforación. Al no ser necesario uso de voladuras, se obtienen superficies definidas que esto supone:

- Menor necesidad de sostenimiento y

- Menos necesidad a paso de aire.
- Mejores rendimientos de perforación, a menor tiempo de ejecución
- Menores costos, como consecuencia del aumento de la productividad.

Aunque sea mayor la partida de amortización, esta se ve compensada por el ahorro en mano de obra y materiales que suponen estos métodos.

Por estas razones, estos métodos son de uso frecuente en ingeniería civil y en minería, debiendo utilizar los sistemas convencionales cuando haya dificultades casi insalvables para su excavación mecánica o no se justifique por la envergadura de la obra. Para la construcción mecanizada de pozos existen tres tipos fundamentales de máquinas, si bien, también existen ligeras diferencias en la industria en las mismas según la compañía que las fabrique, el emplazamiento y el proyecto en que se precise su utilización. Los tres grupos de perforadoras son: (Azurin Garcia Ruben, 2013)

- *Shaff Drilling* (profundización de pozos mediante plataforma de superficie).
- *Shaff Boring* (profundización de pozos con maquina).
- *Raise Boring* (perforación de chimeneas mediante escariador de realce).

### 5.2.1. Shaft drilling

Este sistema de perforación de pozos de gran diámetro es una extensión de las técnicas convencionales de perforación rotativa usadas habitualmente en la extracción de petróleo. El amplio desarrollo de esta técnica se inició por la *Atomic Energy Commission (AEC)*, durante 10s años 60, como parte del programa de pruebas nucleares en la zona de Nevada.

La perforación de pozos mediante la utilización de este método proporciona una solución a numerosos proyectos, debido a su amplio margen operativo en cuanto a su aplicación en condiciones y lugares muy diferentes.

El *Shaft Drilling* consiste en excavar un pozo en sentido descendente utilizando una plataforma de perforación de gran diámetro que se encuentra situada en superficie.

La excavación del pozo puede realizarse en una sola etapa, o en sucesivas etapas de ensanche. La evacuación de los detritus se consigue normalmente mediante la circulación inversa del lodo de perforación. Manteniendo el pozo lleno de lodo de perforación se consigue la estabilidad de este y se impide el flujo de agua mientras se realiza la instalación de revestimiento.

El *Shaft Drilling* compite generalmente con los métodos tradicionales en rocas débiles o medias, pudiéndose adaptar a las condiciones hidrogeológicas más difíciles.

Las mayores torres de perforación llegan a perforar formaciones con resistencia a la compresión superior a los 300 MPa

El diseño en las operaciones de perforación requiere la consideración de los siguientes pasos:

1. Elegir el método de perforación en relación a las condiciones hidrogeológicas y los parámetros geotécnicos de la roca lo largo del pozo. A continuación la torre se deberá seleccionar en función del diámetro y de la profundidad del pozo (habrá que adecuar los cortadores de roca), de las etapas de perforación si acaso de las propiedades del lodo de perforación.
2. Diseño de la cabeza del pozo.
3. Selección del tipo y tecnología en de colocación del revestimiento.
4. Diseño del sistema de sellado frente de agua.
5. Organización del lugar de perforación y localización de los tanques para el lodo de perforación, para la planta de producción de lodo y para almacenamiento de revestimiento y otros materiales. (Azurin Garcia Ruben, 2013)

### **5.2.2. Shaft Boring**

El Shaft Boring es la tecnología más nueva y probablemente la más avanzada en construcción de pozos, aunque esta tecnología sea de los años 60. El equipo se denomina máquina de profundización de pozos (Shaft Boring Machine) y se asemeja a una tuneladora (Tunnel Boring Machine) con personal a bordo, realizándose el transporte del lodo y el servicio desde la superficie. El principal problema que se encuentra en este tipo de perforaciones es la evacuación del detritus; para este problema se han desarrollado diferentes técnicas correspondientes a las empresas que fabrican este tipo de máquinas. Las dos empresas principales de equipos Shaft Boring son Wirth

GmbH de Erkelenz (Alemania) y la Robbins Company de Seattle (EE.UU.); el desarrollo e historia de esta técnica está estrechamente ligado a estas dos compañías. (Azurin Garcia Ruben, 2013)

### **5.2.3. Raise Boring**

Dentro de los diferentes métodos usados hoy en día en la explotación y excavación minera y actualmente se está empleando en obra civil, destaca el sistema Raise Boring, no solo por ser eficiente, sino que además es seguro. Desde un punto de vista general, el procedimiento es bastante simple, sin embargo, a medida que se avanza en este tema subyacen elementos primordiales que determinan la complejidad que hace de este método uno de los más excepcionales en la minería contemporánea.

En pocas palabras, el Raise Boring consiste principalmente en la utilización de una maquina electrohidráulica en la cual la rotación se logra a través de un motor eléctrico y el empuje del equipo se realiza a través de bombas hidráulicas que accionan cilindros. Básicamente la operación consiste en perforar, descendiendo una perforación piloto desde una superficie superior, donde se instala el equipo, hasta un nivel inferior. Posteriormente se conecta en el nivel inferior el escariador, el cual actúa en ascenso, excavando por corte y cizalle, el pozo o chimenea al diámetro deseado. En este método de excavación de chimeneas se requieren dos superficies de trabajo: el inicio de la excavación, el cual puede ser la superficie exterior o el interior de una galería y el final de la excavación en la parte inferior, es decir, es aplicable entre dos galerías o desde superficie a una galería.

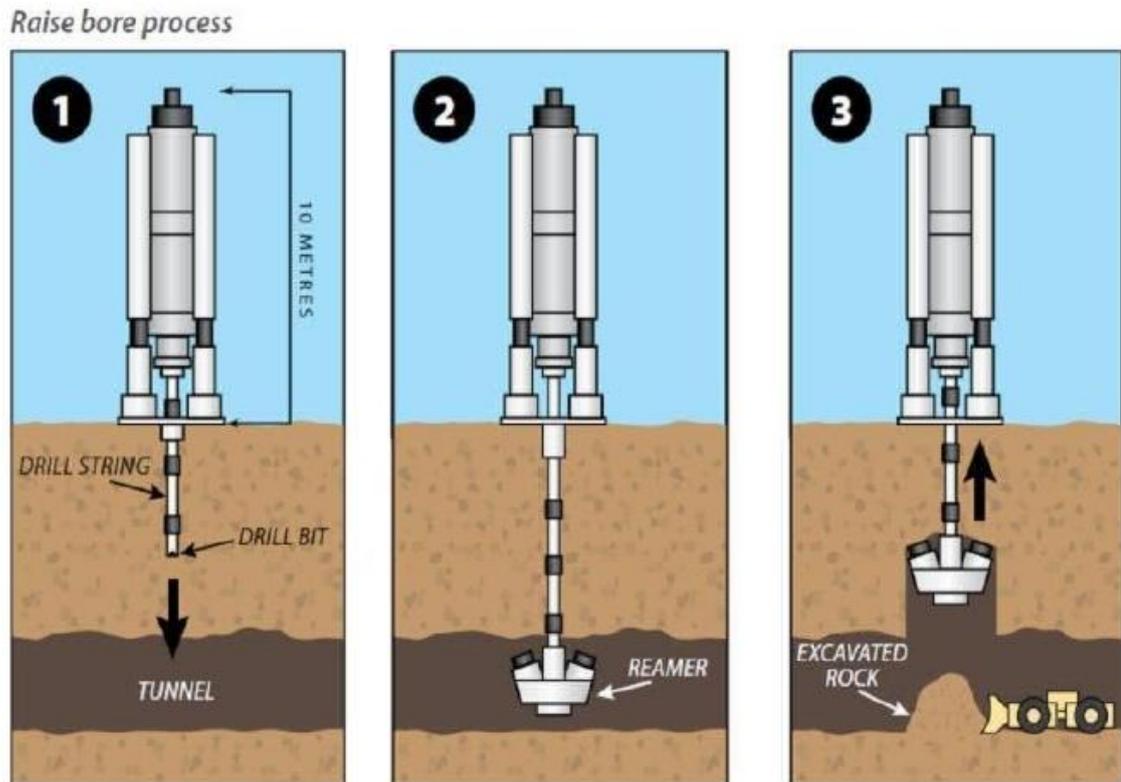
### **5.2.4. Datos históricos del Raise Boring**

La excavación Este método se desarrolló en los años 50 en los Estados Unidos. Consiste básicamente en la ejecución de un sondeo piloto, siguiendo después el ensanche de este en sentido ascendente.

Desde entonces se ha innovado para encontrar nuevas aplicaciones en la perforación horizontal o con pequeño angulo, y en la vertical, sin sondeo piloto. Se suele usar una gama de diámetro entre 2000 a 3000 mm y unas profundidades de 100

hasta 200 m, aunque se ha llegado a 6000 mm de diámetro y 1099 m de profundidad. (Azurin Garcia Ruben, 2013)

**Grafico 11.** Proceso de excavación mecánica con Raise Boring



Fuente: <http://es.slideshare.net/luispozo77/atlas-copco-presentacin>

En la figura N°1 refleja el trabajo desde la parte superior donde se encuentra la máquina perforadora, perforando un agujero piloto. Figura N°2 ilustra el remplazo de un escariador en lugar de una broca. Figura N°3 expresa como se eleva la perforación, se tira de la fresa para arriba, la roca excavada cae por gravedad y se retira a través del túnel.

### 5.2.5. Metodología

1. El sistema Raise Boring como método de perforación en la construcción de chimeneas y pozos, tiene ganada una gran popularidad debido a sus varias ventajas.
2. Dicha perforación se realiza de modo invertido al sistema convencional.
3. Iniciando la perforación en la parte superior mediante un tiro piloto, hasta llegar al nivel inferior.

4. Luego se inicia el proceso de escariado, donde se utiliza como guía el tiro piloto, se construye pozo según el diámetro requerido.

**Grafico 12.** Proceso de escariado en niveles subterráneos

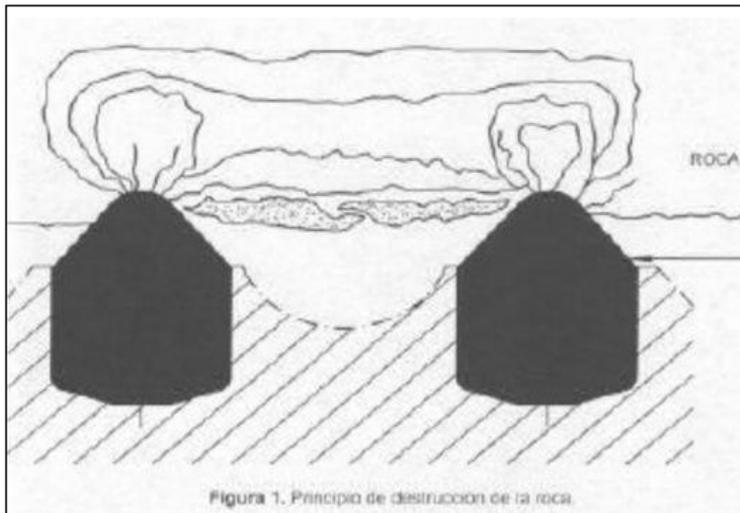


Fuente:[http://minestories.com/wp-content/uploads/2013/11/M\\_Raise Boring\\_2\\_high.jpg](http://minestories.com/wp-content/uploads/2013/11/M_Raise Boring_2_high.jpg)

### **5.2.6. Principio de excavación**

La roca se fractura por los mismos principios de la perforación rotativa. Los cortadores se hacen girar bajo un gran empuje contra la roca, rompiéndose esta por la penetración del borde o de los botones de cada cortador. La velocidad de penetración está relacionada con la resistencia a la compresión simple de la roca.

### Grafico 13. Principio de destrucción de la roca



<http://www.panadrill.com/tecnologia-raise-boring-2/>

#### 5.2.7. Descripción de equipo

Los siguientes son los componentes principales que forman parte del equipo del sistema de Raise Boring. (Azurin Garcia Ruben, 2013)

1. **Motor Eléctrico:** El objetivo es dar la rotación a la columna en las dos etapas anteriormente mencionadas, tanto en el sondaje como en la etapa de escariado, durante la etapa de sondaje, la velocidad es de 30 RPM, no así durante la etapa de escariado, donde disminuye a 8 RPM.

La potencia del motor varía desde los 150 HP a los 500 Hp, 750 RMP y 550 o 380 volt, dependiendo del tipo de equipo requerido.

2. **Conjunto de reductores:** se encuentra el conjunto de 3 o 4 transmisores echos en base a engranajes y piñones planetarios que reducen la velocidad de rotación según la operación lo amerite.

Es normal encontrar más engranajes de transmisión en la columna de perforación, no solo para estabilizar el sondaje, sino que también para mantener una velocidad constante y no desviar la dirección del mismo.

3. **Sistema de empuje electrohidráulico:** consiste en un conjunto de bombas hidráulicas y electroválvulas de alta presión, cercanas a las 3000 PSI, que entregan la presión de trabajo en ambas etapas operativas.

En general, se manejan rangos de hasta 3 megas pascales durante el sondaje, y desde 4 a 20 mega pascales durante el escariado.

4. **Sistema de sujeción de la columna de barras:** Su misión es sujetar la columna durante la ejecución del trabajo.
5. **Base y cuerpo principal:** resaltando con los principios de excavación, consta de componentes de hierro fundido donde se montan los componentes anteriormente mencionados. Dependiendo si la operación es en superficie o dentro de una galería, se cimenta sobre concreto o sobre barras de sujeción.
6. **Conjunto eléctrico:** componentes eléctricos de partida, limitadores de torque y sistemas de seguridad, que evitan roturas o daños en la columna en cualquiera de las etapas de labor.
7. **Columnas de perforación:** Está formado principalmente por barras de extensión, barras estabilizadoras de piloto y de escariado y barra de partida. En algunos casos, también hay barras de transmisión
8. **Escariador, cabeza o Rearmer Head:** consta de una estructura metálica donde van unificados los cortadores que definen el diámetro final del pozo. Trabaja por empuje y rotación en forma ascendente, provocando la ruptura del macizo, debido a la presión aplicada por los bits ubicados en la parte superior del cabezal. El número de cortadores o bits y la disposición de estos dependerá del diámetro deseado del pozo.

**Grafico 14.** Escariadores



**Fuente:** <http://www.directindustry.com/prod/sandvik-mining/product-40142-1427569.html>

- 9. Estación de trabajo:** la estación de trabajo corresponde al conjunto de piezas y mecanismo donde el equipo se sostiene. Puede estar en superficie o dentro de una galería.

Cada modelo requiere de diferentes alturas, según se especifica en el siguiente cuadro. (Azurin Garcia Ruben, 2013)

**Cuadro 16.** Dimensiones de las estaciones de trabajo según el equipo

MODELO	ALTURA (metros)	ÁREA (metros)
<b>Master Drilling RD-3-250</b>	6	3x3
<b>Robbins 73-R</b>	7,5	3x3
<b>Robbins 71-R</b>	6	3x3
<b>Robbins 61-R</b>	5	3x3
<b>Robbins 41-R</b>	4,5	3x3

Fuente: Edwin Ramón

### 5.2.8. Operación del equipo Raise Boring

Durante la operación del piloteado, el agua o el aire es introducido en forma descendente por la maquina Raise Boring dentro de los tubos hasta la roca piloto, lo cual lo expulsa a través Raise Boring de sus orificios o puertos de salida. Luego la roca triturada es evacuada junto con el agua o aire que sube en forma ascendente entre la pared exterior de los tubos y la pared interna del hueco piloto que se va efectuando. La operación del equipo Raise Boring tiene dos etapas bien definidas.

### 5.2.9. Operación de rimadoras

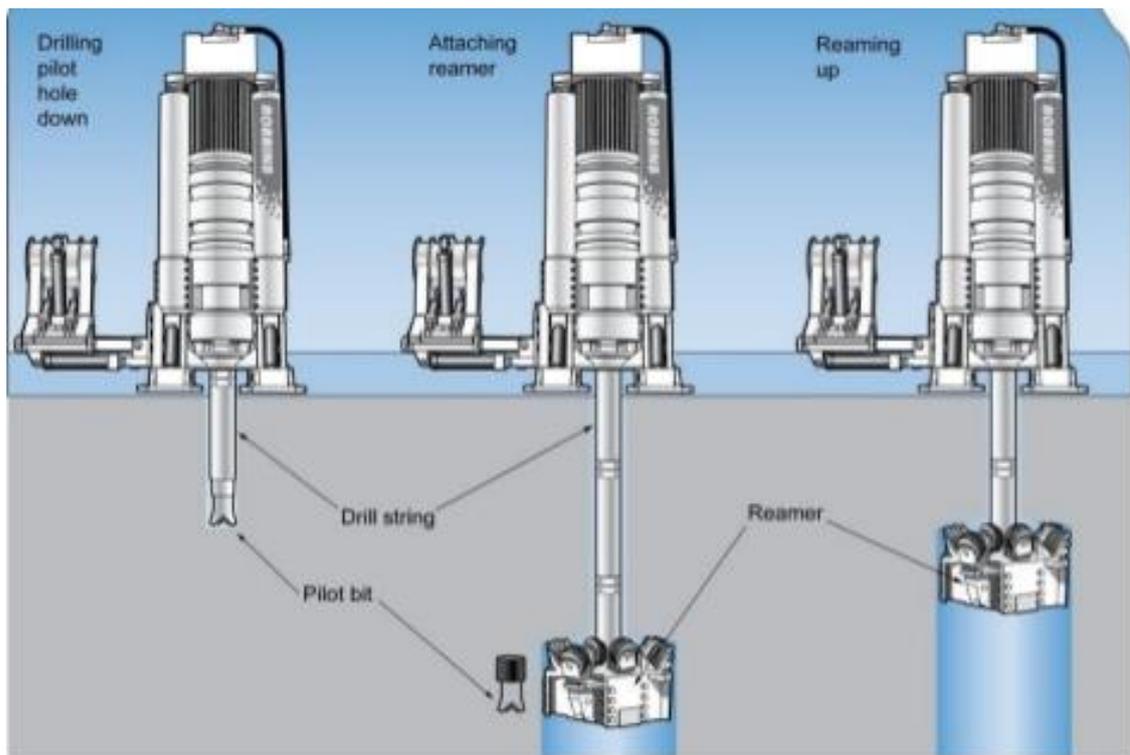
Una vez que la broca piloto llega al nivel inferior (comunicar), se retira el Bit Roller la broca piloto, para luego conectar la cabeza rimadora a la columna de perforación. La roca triturada por la cabeza rimadora va cayendo por gravedad hacia el nivel inferior, en donde con ayuda de una máquina de movimiento de tierras es convenientemente evacuada.

### 5.2.10. Operación de piloteado

Durante esta primera operación, un hueco piloto es perforado en dirección descendente hacia el nivel inferior. Este movimiento descendente se logra introduciendo poco a poco la columna de perforación.

Para esto se ensambla previamente la broca piloto en el Bit Roller, luego este último es conectado con la maquina Raise Boring, la que procede a perforar la roca hacia abajo.

**Grafico 15.** Perforación piloto y rimado



**Fuente:** <http://es.slideshare.net/luispozo77/atlas-copco-presentacin>

### 5.2.11. Ventajas del Raise Boring sobre otros métodos

Raise Boring es el sistema de ejecución mecanizada de pozos o chimeneas entre dos niveles dentro de una mina o en un proyecto de ingeniería civil. Los niveles pueden ser subterráneos o, el superior, puede estar en la superficie.

Este sistema tiene las siguientes ventajas respecto a los métodos tradicionales.

- 1. Seguridad:** Se eliminan los riesgos asociados a la presencia de trabajadores

2. **Coste efectivo:** Se elimina personal altamente calificado para la perforación de pozos y chimeneas. la reducción es más evidente conforme aumenta la longitud de la excavación.
3. **Rapidez:** el sistema es de avance continuo, con lo que se elimina tiempos improductivos.
4. **Paredes suaves y auto sostenida:** El sistema no afecta a la roca circundante al hueco, con lo que no se precisa sostenimiento, claro dependiendo de cada tipo de roca, pero el tiempo vano se eleva porque las paredes no quedan debilitadas ni ocurre sobre-excavaciones por el mismo hecho de no usar explosivos. Las paredes son lisas, con lo que la resistencia a la circulación de aire disminuye.

También se consideran otras ventajas debido a su ejecución mecanizada, y estas son:

1. No hay uso de explosivos.
2. Productividad y rendimiento, comprobado a métodos convencionales de ruptura de roca con explosivos.
3. Gran autonomía en excavación de piques de gran longitud.
4. Alta razón de avance en metros por día.
5. No existe sobre excavación, debido a la presencia de equipo.
6. Versatilidad para perforar en ángulos sub-horizontales, a pesar que está diseñado para piques verticales.

#### **5.2.12. Desventajas**

No obstante, también existen desventajas propias de éste método. Dentro de las más relevantes tenemos:

1. Falta de flexibilidad en cuanto a tamaños.
2. La dirección de esta no puede ser cambiada una vez comenzado en proceso.
3. Requiere una gran inversión en infraestructura, equipo y mantención.
4. En pozos con mayor diámetro y en roca mala tienden a atraparse.
5. Inconvenientes y demora de avance en roca muy mala.

6. Requiere de personal altamente especializado y preparación previa en el área de trabajo.
7. El sostenimiento se realiza después de haber culminado la labor o en caso de sostenimiento inmediato se paraliza el mecanismo de avance.

Cabe mencionar que estas desventajas son mencionadas independientemente de las ventajas del Raise Boring. (Azurin Garcia Ruben, 2013)

### **5.2.13. Etapas principales de ejecución del método Raise Boring.**

El proceso de ejecución del método de Raise Boring, consta de dos etapas principales, a continuación descritas en orden secuenciales.

#### **5.2.13.1. Perforación del tiro piloto o sondaje piloto.**

Se realizan de forma descendente, vertical o con inclinaciones de hasta 40° utilizando como herramienta de corte un tritono de rodamientos sellados.

El avance de la perforación se logra agregando barras extensoras y estabilizadoras a la columna de perforación, dependiendo de la profundidad deseada y las condiciones geológicas y geo-mecánicas.

Durante la perforación, la extracción, del detritus se realiza mediante la inyección a presión de agua o sustancias acuosas con aditivos espesantes a fin de inyectarla a la superficie. Usualmente, para conseguir esto, se recurre a bombas de 37 a 50 KW de potencia. Sin embargo, si la calidad de la granulometría de la roca es muy disgregable, se utiliza aire a presión para la evacuación de los residuos. La deflexión o desviación del tiro piloto dependerá de la pericia de operación y de la calidad del macizo rocoso a perforar, la presencia de diques, fallas o discontinuidades en general, tenderá a provocar mayores desviaciones, de los cuales se consideran dentro de los rangos esperados desviaciones no mayores a 1%. (Azurin Garcia Ruben, 2013)

**Cuadro 17.** Diámetro de sondaje piloto en relación al diámetro del pozo

DIAMETRO DE POZO V/S DIAMETRO TIRO PILOTO	
pozo (mt)	Sondaje piloto
1.50 a 2.50	1 1/4
2.7 a 3.5	13 3/4
3.5 >	15"



Fuente: Edwin Ramón

**5.2.13.2. Escariado o ensanchamiento**

Consiste en reemplazar el tricono por el cabezal escariador, una vez que este haya emergido en la superficie superior de una galería donde finalizó la perforación piloto. El escariador avanza en ascenso y rotando, siguiendo la dirección del tiro piloto, excavando la roca por corte y cizalla para lograr el diámetro deseado del pozo. Por este motivo, el cabezal consta de piñones para triturar la roca a medida que sube.

**Cuadro 18.** Cabeza escariadora vs cabeza escariadora

NUMERO DE ESCARIADORES V/S DIAMETRO FINAL	
# de cortadores	Diámetro final (m)
8	1.5
14	2.5
16	3
22	3.5
26	4
28	4,5



Fuente: Edwin Ramón (2015)

Para retirar el escariador al finalizar la excavación existen dos alternativas:

1. Bajar la columna de barras extensoras y estabilizadoras por el fondo del pozo o pique, a través de la galería inferior. En este caso, es necesario dejar un puente de roca

no excavada en la parte superior de 2 a 4 metros de espesor, dependiendo del diámetro final de excavación de calidad Geomecánicas de la roca.

2. Excavar el pozo completo, retirando el Rearmer ead por la parte superior de la excavación.

### **5.2.13.3. Evacuación del detritus.**

En el sistema tradicional, la fuerza de la gravedad ayuda a la evacuación del detritus.

Sin embargo, cuando se excava hacia abajo o en perforación sub-horizontal la perforación se realizara por inyección de fluido (aire o agua) directa o inversa.

### **5.2.14. Relación entre los diámetros de perforación piloto y escariado**

Existe una relación entre los diámetros de perforación que será determinante para la elección del material de perforación, en la excavación.

En la práctica se a determinado que hasta 2.5 metros de diámetro final de excavación, utilizar un diámetro de perforación del piloto de  $12^{1/4}$  de pulgadas es adecuado.

Para diámetros finales de excavación de 2.7 a 3.5 metros se utiliza perforación con triconico de  $13^{1/4}$  pulgadas de diámetro.

Sobre 3,5 metros de diámetro final de excavación y hasta 6,0 metros de diámetros se utiliza normalmente, perforación con tricono de 15”.

### **5.2.15. Rendimiento de excavación.**

Si bien el rendimiento y el desempeño de este método va fuertemente ligado a las condiciones de trabajo, como la geo-mecánica del macizo, la profundidad del pique o el diámetro esperado, en general es posible afirmar rotundamente que es uno de los más eficientes en cuanto a rendimientos netos. (Azurin Garcia Ruben, 2013)

Para el caso de rocas competentes con resistencia a la comprensión uniáxica de hasta 180 MPA, el rendimiento por jornada de trabajo de 16 horas se detalla en la tabla.

**Cuadro 19.** Rendimiento por jornada

<b>RENDIMIENTO POR JORNADA DE TRABAJO DE 16 HORAS</b>	
<b>Diámetro (m)</b>	<b>Rendimiento (m/día)</b>
1.50	12 a 20
2.50	8 a 14
3.00	6 a 10
3.50	4 a 8

**Fuente:** Ramón E. (2015)

**5.3. PROCESO DE CONSTRUCCIÓN GENERAL DEL POZO DE PRESIÓN**

La secuencia constructiva de pozo de presión del PH Quijos se la realizara en el siguiente orden: Excavación de cámara (codo superior), excavación de cámara (codo inferior), perforación del pozo piloto, excavación de ensanchamiento o escariado(rima), excavación y sostenimiento de cámaras, instalación de sistema de izaje, excavación con voladura controlada para ensanchamiento definitivo y sostenimiento final dependiendo del tipo de roca, puede ser por avance o luego de una determinada longitud.

**5.3.1. Selección de maquinaria para la construcción.**

Debido a que este método constructivo es nuevo en nuestro país y en base a las características geológicas-geotécnicas, para la construcción del pozo se recomienda utilizar la maquina maquinaria Raise Boring SBM 400 LP o similar, tomando en cuenta que se contratará a una empresa TUMI (contratistas mineros s. a. c) especialista en el diseño y fabricación del producto Raise Boring, así como en la presentación de servicios de dicho sistema. En este caso porque no se selecciona una maquina con mayor capacidad de ensanchamiento?, a continuación se detallan los más importantes.

1. Cuando se utiliza escariadores con mayor diámetro estas tienden a atraparse (en roca tipo I, II Y III intermedio, son óptimos).
2. Condiciones geológicas del lugar, el macizo tiene un mayor porcentaje de roca tipo IV.
3. Mayor costo en trasporte, desde otros países.

4. Mayor infraestructura y mayor espaciamento para la instalación de la máquina Raise Boring.

Como ya se menciona anteriormente se utilizará la máquina SBM 400 SP o similar con los siguientes accesorios: tuberías de perforación, estabilizadores, cabeza rimadora, cortadores y herramientas. El trabajo comprende las siguientes etapas: Labores de movilización de la máquina y sus accesorios; perforación piloto, perforación rimada (escariado) y desmovilización de la máquina y sus accesorios.

**Cuadro 20.** Características de Raise Boring SBM 400 LP

<b>CAPACIDADES</b>			
<b>Rango de Capacidades</b>	<b>Longitud</b>	1,600 pies / 500 m	700 pies / 200 m
	<b>Diámetro</b>	4 pies / 1.2 m	12 pies / 3.6 m
<b>Potencia Total Instalada</b>		200 hp / 150 kW	
<b>Empuje de Escariado</b>		384,000 lbf / 1,710 kN	
<b>Torque Máximo</b>		60,000 lbf-pie / 81 kN-m	
<b>Ajuste del Ángulo de Perforación</b>		45° - 90°	
<b>PESOS Y DIMENSIONES</b>			
<b>Ancho de la Máquina (W)</b>		4 pies 7 pulg. / 1,400 mm	
<b>Altura Extendida de la Máquina</b>		12 pies 10 pulg. / 3,920 mm	
<b>Altura Retraída de la Máquina</b>		9 pies 8 pulg. / 2,950 mm	
<b>Máx. Altura de la Máquina en Ángulos</b>		13 pies 1 pulg. / 4,000 mm	
<b>Profundidad de la Máquina (D)</b>		4 pies 3 pulg. / 1,300 mm	
<b>Peso</b>		15,800 libras / 7,200 kg	
<b>Tubería</b>		10 pulg. x 5 pies 254 mm x 1.5 m	
<b>Altura requerida en la Galería</b>		14 pies / 4.2 m	

**Fuente:** cotización Tumi (2012)

**Fotografía 3.** Raise Boring



**Fuente:** cotización Tumi (2012)

### **5.3.2. Proceso de construcción específico**

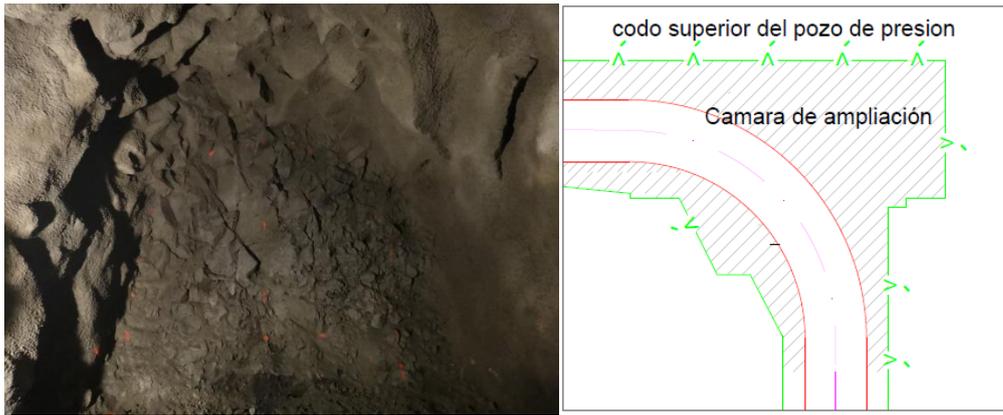
1. Procedimiento del equipo de perforación (Raise Boring): Preparación para la construcción, control topográfico, perforación del pozo piloto con un diámetro de 0.28 m en sentido ascendente, luego el ensanchamiento del pozo piloto con rima de diámetro de 2.5 m en sentido descendente.

2. Procedimiento de instalación del sistema de izaje: Preparación de la instalación, excavación y sostenimiento de la cámara de izaje, montaje de plataforma de trabajo, instalación de cables de sistema de izaje, instalación de poleas del sistema de izaje, instalación del sistema de control eléctrico, instalación de la plataforma de excavación (andamio colgante), instalación de cubierta en la boca del pozo vertical, prueba del sistema.
3. Procedimiento de excavación con voladura controlada: Preparación de la excavación, control topográfico, (metodología topográfica del pozo vertical se entregara en oficio), barrenación, carga de explosivos, voladura, ventilación, inspección de la voladura, desalojo de material, amacice del área excavada, sostenimiento, (instalación de agua, luz, manga de ventilación), continuación del ciclo.
4. Proceso de sostenimiento: Preparación, mezclar de hormigón (en la planta), transportar a la boca del pozo (mixer de 8m<sup>3</sup>), dotar con tubería al sitio de trabajo (o con tubo al sitio de trabajo), lanzar hormigón primario con un espesor de 5 a 7 cm, barreno de anclajes, colocar anclajes, colocar malla electro soldada, lanzar hasta el espesor diseñado.

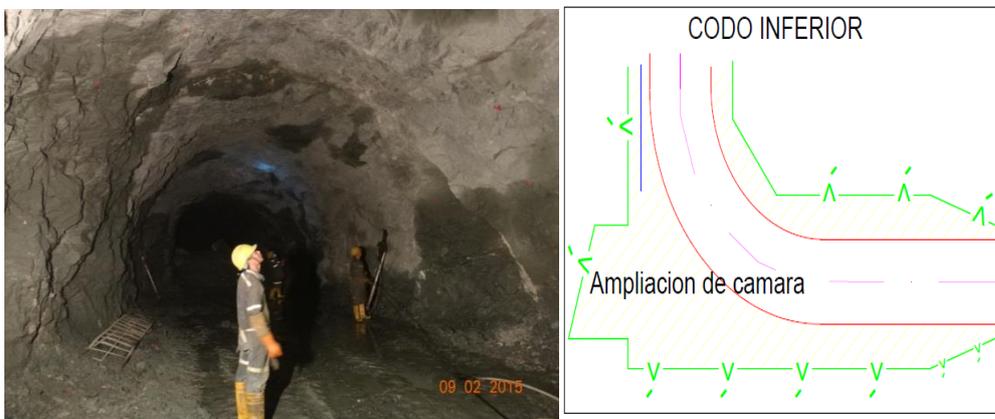
### **5.3.3. Metodología de construcción**

#### **5.3.3.1. Metodología de excavación de codo superior e inferior y pozo vertical**

La excavación de codo superior e inferior se realizara en roca tipo III y de acuerdo a los estudios de diseño, mediante voladura controlada con equipos de perforación adecuados. El codo está ligado a la cámara de ampliación.



**Fotografía 4.** Excavación del codo superior, roca tipo III.



**Fotografía 5.** Excavación del codo inferior, roca tipo III.

El desalojo del material se la realizara con cargadora de capacidad de 3 m<sup>3</sup> y transporte con volqueta con capacidad de 6 m<sup>3</sup>, posteriormente se realizara el macizado de la sección excavada.

La excavación del área restante del codo superior e inferior se la realizara posterior a la perforación del pozo piloto y el ensanchamiento del mismo.

#### 5.3.4. secuencia de la excavación del pozo vertical

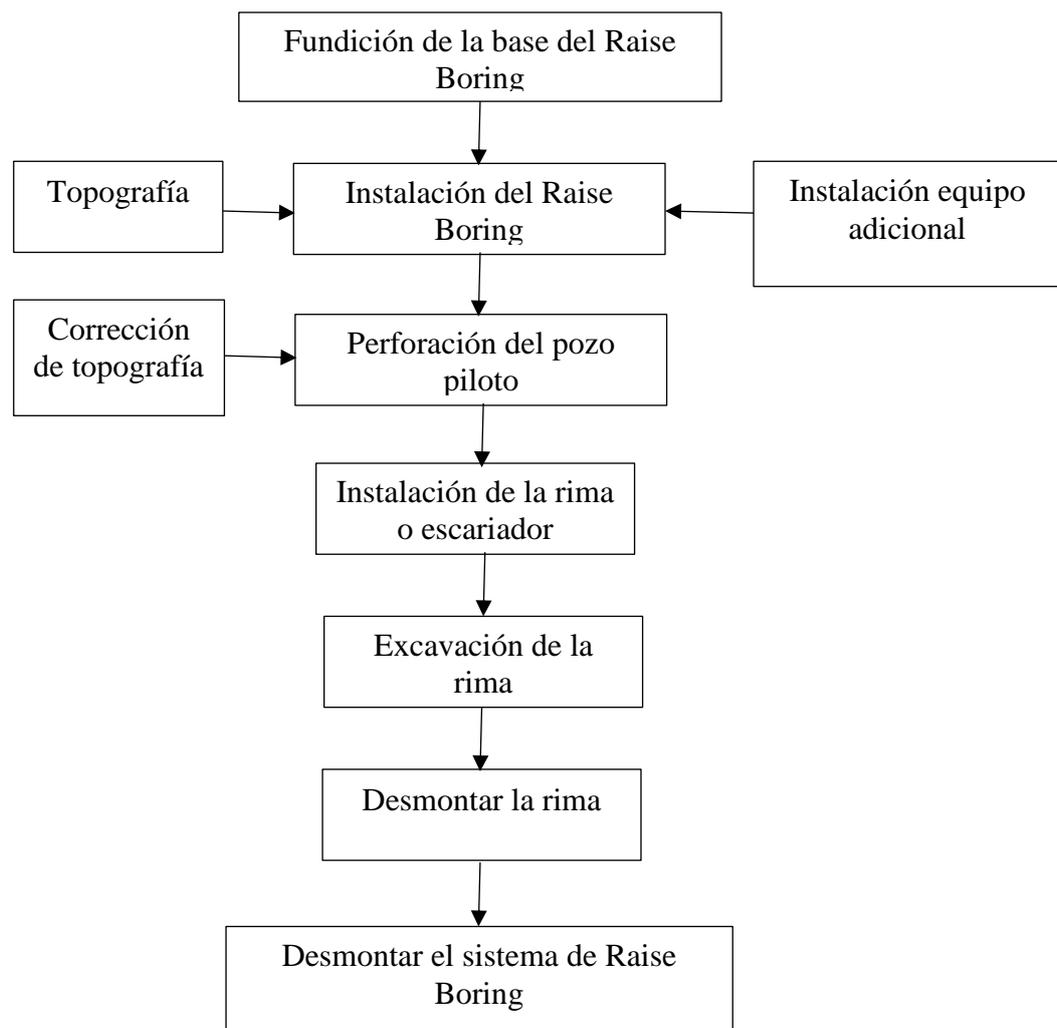
1. **excavación Raise Boring:** Perforación del pozo piloto de diámetro 279.4 mm, desde la parte superior realizando una perforación descendente; finalizado el pozo piloto se realiza un ensanchamiento ascendente utilizando una rima de 2,5 m, de diámetro.

**2. Excavación para llegar a sección completa mediante voladuras controladas:**

La excavación de la sección completa del pozo vertical se la realizara, con martillos neumáticos ubicados en la plataforma de trabajo cota 2073 m.s.n.m. La excavación del material se realizara utilizando el pozo ensanchado, los clastos del material volado deberán ser menor a 60 cm para evitar cualquier obstrucción en el pozo ensanchado.

- 3. Desalojo de material:** El desalojo del material se realizará manualmente desplazándolo hacia el pozo ensanchado para que caiga al codo inferior, y sea desalojado con cargadora de capacidad de 3m<sup>3</sup> y el transporte con volqueta con capacidad de 20t.

**5.4. PROCEDIMIENTO DE EXCAVACION DEL POZO VERTICAL**



#### **5.4.1. Ubicación**

Para garantizar la verticalidad del pozo piloto se realizara la nivelación y el centrado del equipo, también se dispone de herramientas del equipo para los ajustes de verticalidad del mismo y su desviación de inclinación no podrá sobrepasar 1,5 por mil. El equipo se asentara sobre una base de hormigón de resistencia c20 de espesor 100 cm.

#### **5.4.2. Control Topográfico**

Después del informe de los mojones y la revisión de la misma, se colocara el punto central del pozo vertical, al mismo tiempo se colocara tres puntos auxiliares a cada lado para la verificación y revisión. Según la localización y del centro del pozo y la dirección de perforación se ajusta el ángulo de inclinación por los operadores de la máquina, se debe realizar la perforación con la mayor exactitud para que la maquina no se incline.

#### **5.4.3. Excavación de pozo piloto (inicio de perforación)**

Para iniciar la perforación se debe excavar una superficie de cara plana de modo que se garantice la verticalidad de perforación, se debe ajustar la velocidad de rotación para iniciar con una velocidad baja, se debe seleccionar el barreno prefabricado de perforación del mismo diámetro de 254 mm y se perfora lentamente con el centralizador.

Se realiza la perforación en roca utilizando el primer barreno pesado y conectándolo al segundo barreno pesado después de que los dos barrenos hayan perforado los siguientes barrenos que se conectan son normales y se continua la perforación manteniendo el barreno pesado pegado al fondo hasta que no se registre avance, cuando el avance es nulo se retira los barrenos de perforación y se reemplaza el primero y segundo barreno pesado especial a barrenos pesados normales, se introduce los barrenos al pozo y se reinicia los trabajos de avance de perforación. Mientras se realiza la excavación del pozo piloto se debe tener precaución a los siguientes puntos:

- 1.) Cuando se inicia la perforación se debe utilizar una presión y velocidad de rotación baja, hasta que la broca empiece a perforar en la roca.

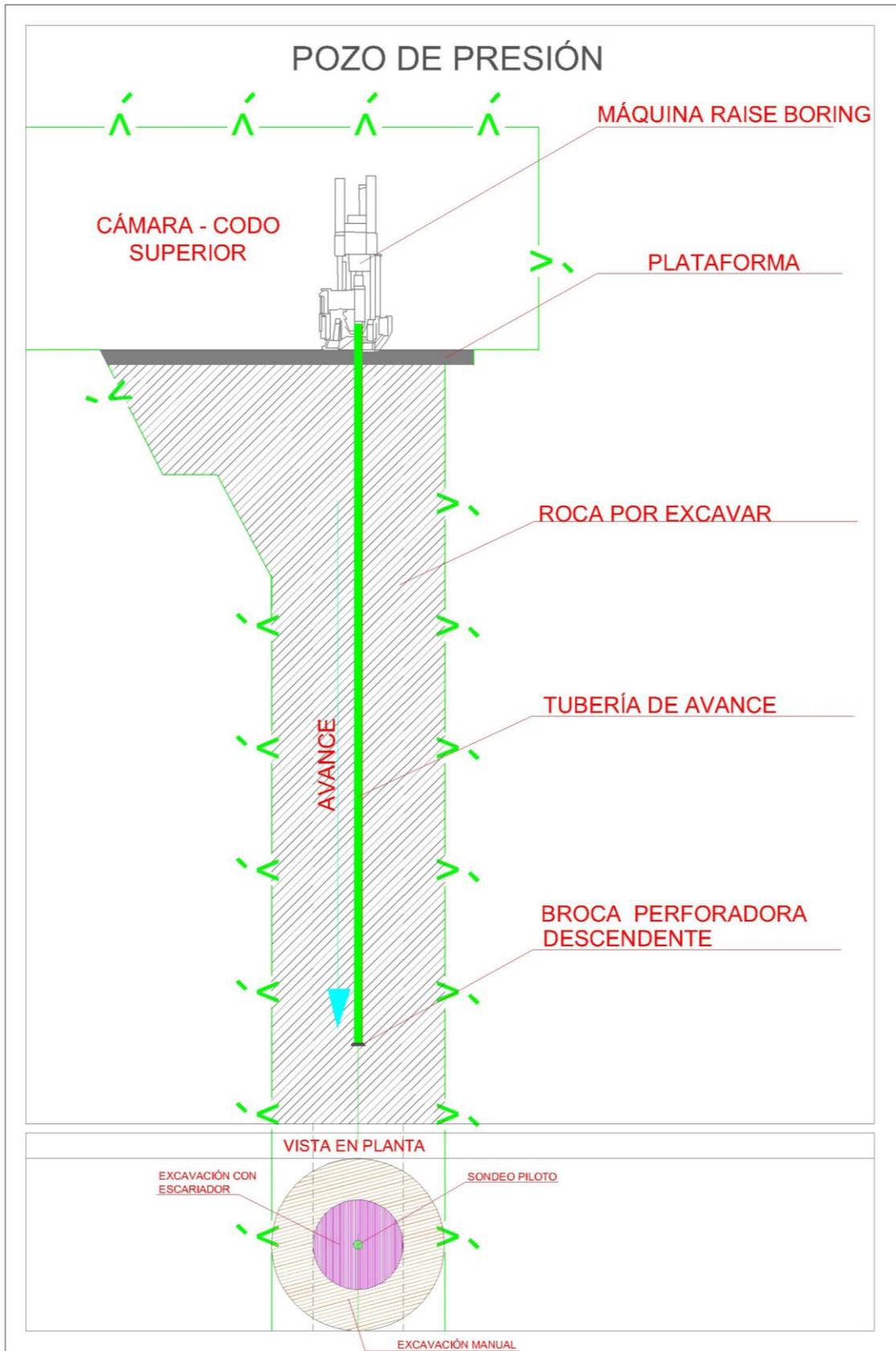
- 2.) Durante la perforación para estratos blando o transicional se debe usar una presión baja y para estratos estables o masivos se debe utilizar presión y velocidad de rotación alta, se debe considerar el tipo de roca para determinar una presión y velocidad de rotación adecuada para mantener un avance uniforme.
- 3.) Después de finalizar la perforación del primer barreno se debe limpiar los sedimentos con agua hasta que la misma salga transparente del agujero, una vez realizada la limpieza se podrá apagar la bomba y acoplar otro barreno.
- 4.) Se debe observar la cantidad de agua de retorno, si se presenta el fenómeno de fuga de agua es necesario parar y realizar una inyección.
- 5.) Se debe reducir la velocidad de rotación y presión 3m., antes de llegar al codo inferior.

#### **5.4.4. Disposición de barreno pesado**

La finalidad de usar el barreno pesado es controlar la dirección de la broca, que debe ser recta durante el proceso de perforación. Por eso, la disposición correcta del barreno pesado y la broca es una condición importante para garantizar la exactitud del pozo piloto. El diámetro exterior del barreno pesado es 279,4 mm, es igual que el diámetro de la broca del pozo, eso puede asegurar que el barreno pesado se pegue estrechamente a la pared de la piedra e impide la desviación del pozo piloto. Cuando se dispone el barreno pesado, deben tener en cuenta los puntos siguientes:

- 1.) Antes de comenzar a perforar, hay que examinar la broca y el barreno pesado, se requiere que la broca y el barreno pesado que tengan el mismo diámetro, con el fin de garantizar la exactitud del pozo piloto.
- 2.) Si el desgaste del barreno pesado ya ha sobrepasado a 3mm., no se puede seguir utilizando, debe desecharse ese barreno pesado.
- 3.) En cuanto a la disposición del barreno pesado, primero deben poner 6-8 barrenos pesados sucesivamente después de la broca. Y poner un barreno pesado detrás de 3 barrenos normales.

**Grafico 16.** Esquema de perforación piloto (inicio de perforación)



Fuente: Ramón E. (2015)

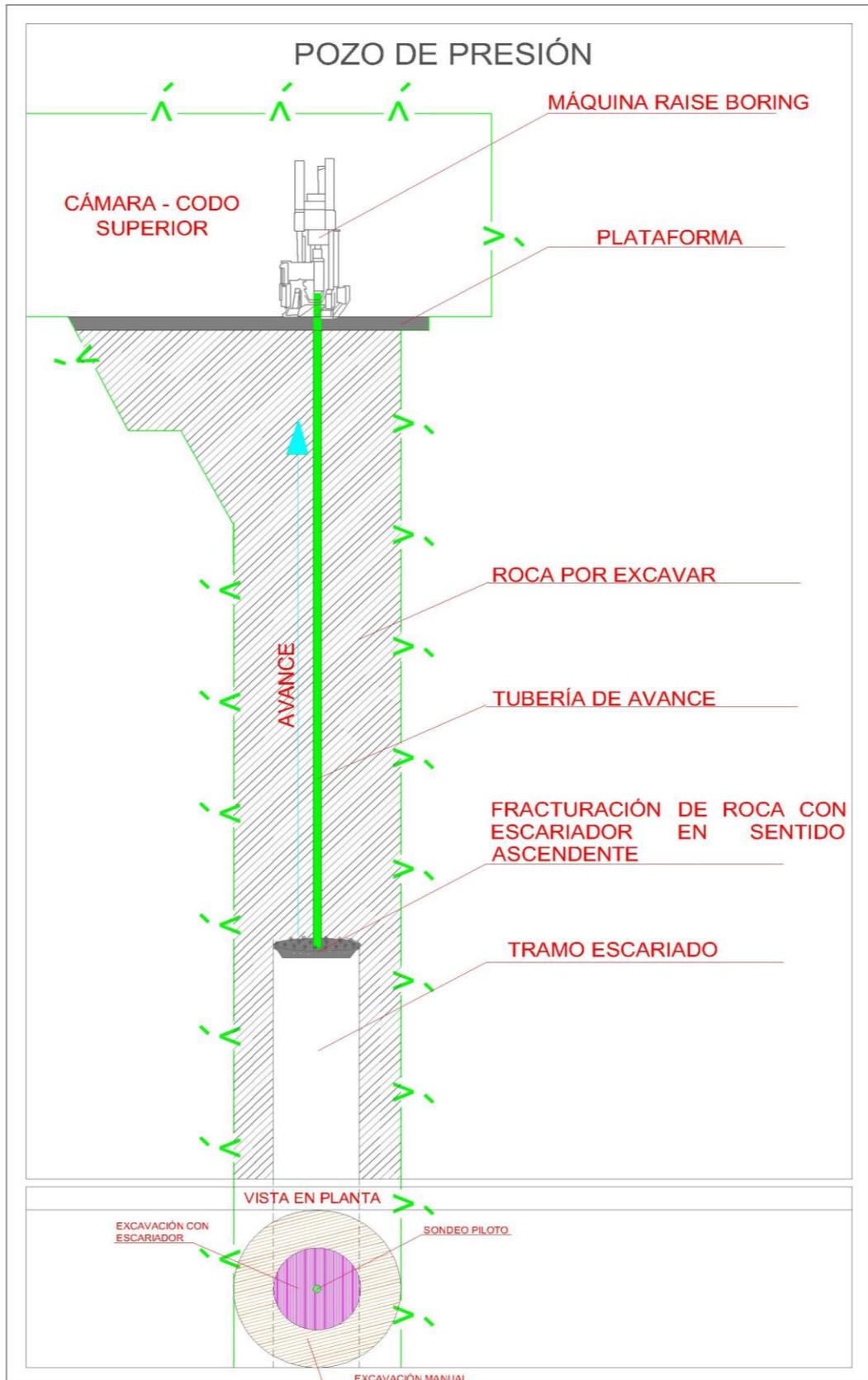
#### **5.4.5. Excavación de ensanchamiento (escariado)**

Cuando se finaliza la perforación del pozo piloto se cambia la broca de 280 mm por una rima de 2500 mm y se inicia la excavación de ensanchamiento de abajo hacia arriba.

Después de la instalación de la rima se eleva el equipo hasta que la rima haga contacto con la roca y empieza a girar con una velocidad mínima hasta que toda la superficie de la rima toque la roca regularmente. La presión del taladro y el torque de perforación se determinan de acuerdo a las circunstancias de estrato y la profundidad del pozo. De acuerdo al mantenimiento y la vida útil de la rima, la fuerza de tracción no podrá sobrepasar lo indicado en el manual del equipo, donde menciona que está basada bajo la premisa que el macizo a perforar tenga un esfuerzo de comprensión que no exceda los 150 Mp (Mega Pascales) o 21, 750 PSI.

Cuando la rima se encuentre próxima a terminar el ensanchamiento a 2,5m., se debe reducir la velocidad para evitar daños.

**Grafico 17.** Esquema de perforación con escariador



Fuente: Ramón E. (2015)

#### **5.4.6. Control y ajuste de la verticalidad del pozo**

El diámetro del pozo vertical es de 4,8 m, y la longitud de excavación máxima de 130,65 m, para la perforación con Riase Boring los requisitos son estrictos sobre la verticalidad y la dirección de perforación. Durante la perforación hay que realizar mediciones de desviación para determinar ajustes en la perforación y evitar desviaciones irreparables. Debido a la profundidad del pozo y las condiciones geológicas de la zona el equipo debe cumplir con determinados requisitos de precisión. El equipo tiene integrado medidores de desviación.

- 1.) Después de 25m., del inicio de perforación, hay que chequear por la primera vez la verticalidad del pozo, si es correspondiente a los requisitos, puede seguir perforando, si no, se tendrá que corregir la desviación.
- 2.) Durante el proceso, hay que evaluar las condiciones de perforación y en el momento de cambiar la broca chequear la verticalidad de esta. Si todo es correspondiente a los requisitos, se puede seguir perforando, si no es correcto, hay que rellenar con hormigón, cuando el hormigón cumple la resistencia requerida, se puede perforar de otra vez.

Procedimiento para ajuste de desviación: durante la perforación del pozo piloto debido a la profundidad y la presión ejercida por la maquina sobre la broca puede producirse una desviación en la verticalidad del pozo que se corregirá colocando de 6 a 8 barrenos pesados en el extremo rectificar la dirección de la broca (los barrenos pesados tienen el mismo diámetro de la broca). El ajuste entre los barrenos pesados y la excavación hace que rectifique la verticalidad del pozo, durante la perforación en ciertos tramos (80 a 100m) se colocara un barreno pesado, el desgaste permisible de estos barrenos no será mayor a 3mm., cambiándolo cuando sea necesario, esto con el objeto de rectificar la verticalidad de la perforación. Se lo verificara con calibre nonio el desgaste en los barrenos pesados.

#### **5.4.7. Tratamiento para la desviación del pozo piloto**

Cuando la desviación sea de tal magnitud que no se pueda corregir con los barrenos pesados se rellenara con hormigón y después de que este fraguado se realizara la re perforación.

#### **5.4.8. Desmontaje del Raise Boring**

Después de la perforación, hay que sacar la broca de ensanchamiento (la rima) del pozo, sujetar la rima en la viga de acero, desmonta el Raise Boring, y sacar la broca del pozo piloto con el equipo de izaje.

#### **5.4.9. Rendimientos estimados.**

Los rendimientos estimados están directamente relacionados con: la calidad de la roca a perforar, abrasividad, dureza, fallas geológicas y ángulo de la perforación. Los antecedentes de rendimiento deben tomarse como referenciales pues suponen una situación ideal, sin interferencias. (Quiroz)

- Perforación Piloto de 11": avance de 1.40 a 1.80 metros/hora.
- Perforación Rimado de 2.50 metros de diámetro: avance de 0.30 a 0.40 metros/hora.
- Desviación estimada de 1% a 2%

Se garantiza el 85% de operatividad de la máquina RAISE BORER del total de las horas programadas. El 15 % de horas restantes es para labores de mantenimientos preventivos, mantenimientos.

Para tener una mayor aproximación de rendimientos en la excavación del Pozo de presión (piloto y rimado), la clave es basarse en la interpretación de los mapeos a partir del sondeo XPP-02 , donde un 56% se tiene roca tipo IV y un 8% roca tipo V, esto significa que se atravesara un macizo rocoso de mala calidad donde la fuerza la presión del taladro y el torque de perforación disminuye ya que en especial el escariador tiende a atraparse en roca de mala calidad, por lo tanto teniendo un rendimiento bajo de excavación en comparación con lo especificado anteriormente. En el siguiente cuadro se demuestra una aproximación de excavación, dando una media de 0.29 m de avance por cada hora. Cabeza

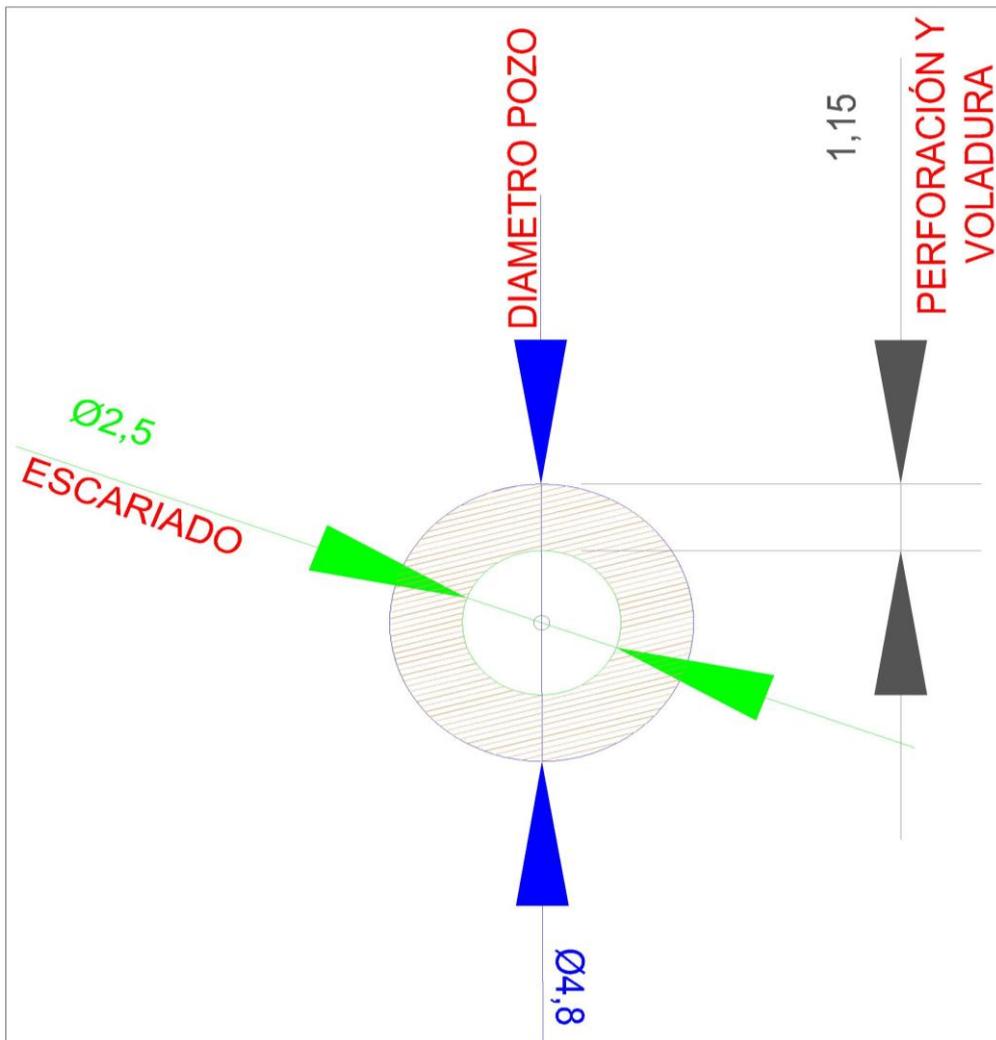
**Cuadro 21.** Excavación con escariador

<b>Avance aproximada con escariador de 2.50 m (Raise Boring)</b>		
<b>Avance (m)</b>	<b>tiempo(hora)</b>	<b>Tipo de roca</b>
0, 20 a 0,25	1	V
0,25 a 0,30	1	IV
0,30 a 0,40	1	II Y III
<b>Media</b>	<b>0,28</b>	

Fuente: Ramón E. (2015)

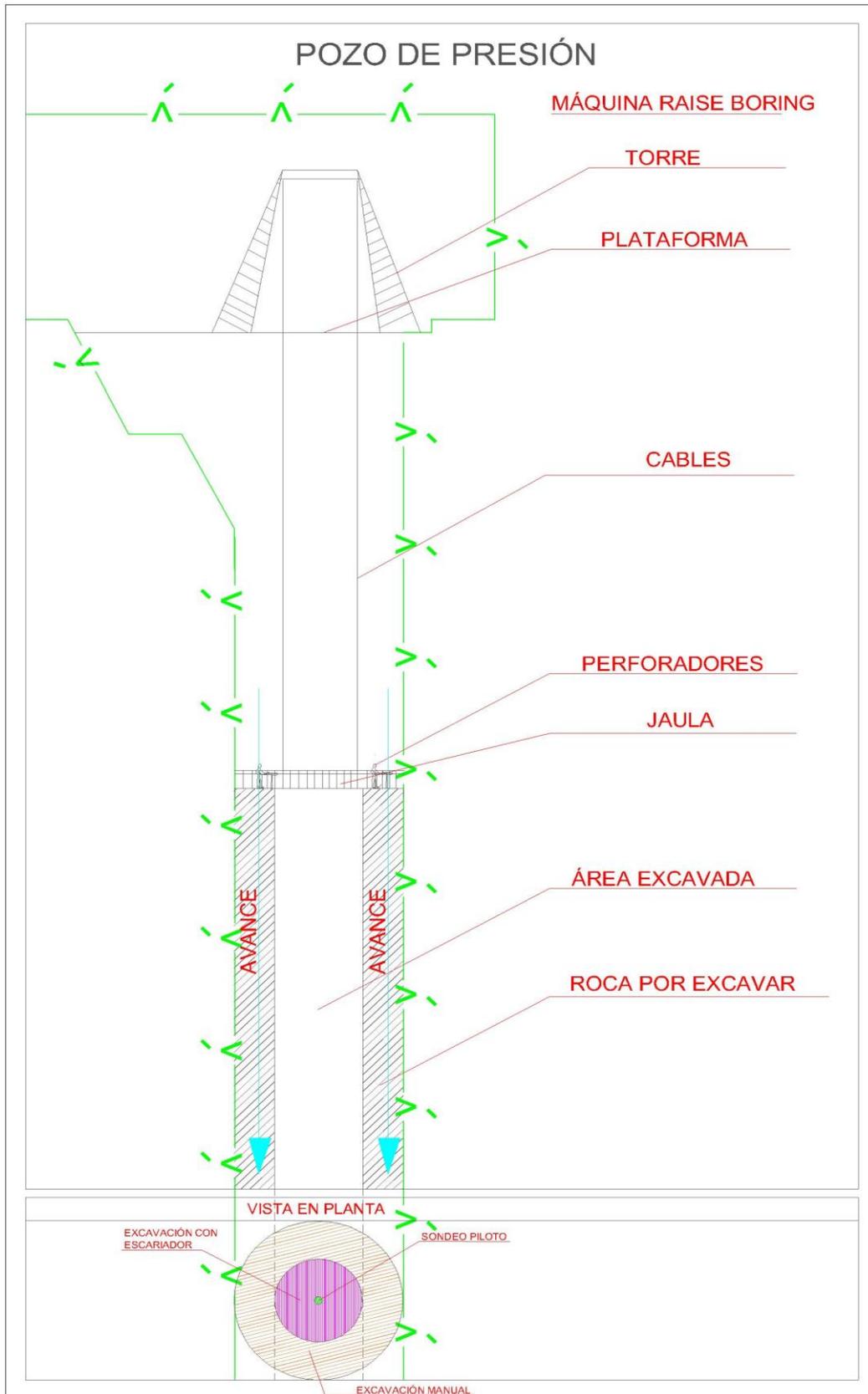
**5.5. ENSANCHAMIENTO MANUAL O CONVENCIONAL**

La voladura se realizará en el pozo de presión, prácticamente serán dos pozos concéntricos, el primero tendrá un diámetro de 2,5 m excavado con Raise Boring y el ensanchamiento será con voladura, restando el radio del pozo total (4.8 m) menos el radio excavado del Raise Boring da 1,15 de radio.

**Grafico 18.** Diámetros perforar en el pozo de presión

Fuente: Ramón E. (2015)

**Grafico 19.** Excavación con perforación y voladura



Fuente: Ramón E. (2015)

## 5.6. CALCULO DE VOLADURA Y DIAGRAMA DE PERFORACIÓN

En esta voladura no abra cuele sino barrenos de pre-corte y destroza, además se tiene una excavación en el centro de pozo (Excavación mecánica), que servirá como cara libre, se realizará el cálculo del explosivo para una voladura controlada, con el fin de conservar la estabilidad de la excavación del pozo, el mismo que sirve de conducto (gravedad) para el desalojo del material de la voladura.

La voladura controlada debe espaciarse de tal modo, que las fracturas creadas se dirijan a los puntos de menor resistencia, es decir de barreno a barreno, alineándose para formar un plano de corte, con lo que se disminuye o elimina la formación de fracturas radiales.

Para que una voladura sea controlada debe tener las siguientes condiciones:

- 1 Relación de espaciamiento a burden inversa a la normal; es menor espaciamiento que burden,  $E = 0.5$  a  $0.8 B$ .
- 2 Explosivo de mucho menor diámetro que el del taladro para que la relación de desacoplamiento sea mayor que la convencional de 2,1 a 1.
- 3 Carga explosiva linear distribuida a todo lo largo del barreno preferentemente con cartuchos acoplables como los de Exacorte, o en ciertos casos carga amortiguada con espaciadores.
- 4 Taco inerte solamente para mantener el explosivo dentro del taladro, no para confinarlo.
- 5 Empleo de explosivo de baja potencia y velocidad, brisance, como el Exacorte y Exsasplit.
- 6 Disparo simultaneo de todos los taladros de la línea de corte, sin retardos entre sí, y solo después de la voladura principal.
- 7 Mantener el alineamiento y paralelismo de los barrenos, de acuerdo al del corte a realizar, de lo contrario no hay buen resultado.

### 5.6.1. Ventajas de la voladura controlada

La voladura se realizará en el pozo de presión, prácticamente serán dos pozos concéntricos, el primero tendrá

- Produce superficies de rocas lisas y estables.
- Contribuye a reducir la sobre-excavación y la proyección de fragmentos.
- Produce menor agrietamiento de la roca remanente.
- En minería puede ser una alternativa para la explotación de estructuras débiles e inestables. (Técnica, 2011)

### 5.6.2. Desventajas de la voladura controlada

- Mayor costo que la voladura convencional por requerir más perforación y empleo de explosivos especiales.
- Mayor demora en la obra, por el incremento de trabajo de perforación.
- En algunos tipos de terreno no llega a dar los resultados esperados como por ejemplo en el material detrítico incompetente o deleznable. Mejores resultados se obtienen en rocas homogéneas y competentes. (Técnica, 2011)

### 5.6.3. Calculo de voladura controlada

Datos diámetro del barreno 42mm

Explosivo: Exsacorte

Cordón detonante de bajo gramaje

Para la carga de explosivo por pie de taladro (longitud) se utiliza la siguiente formula:

$$q = D^2 / 28$$

Dónde: q: carga de explosivo por pie de taladro (lb/pie)

D: diámetro de los taladros vacíos

$$q = 0.0975 \text{ lb/pie} = 0.15 \text{ kg/m}$$

Para el cálculo de espaciamento entre barrenos utilizamos la siguiente formula:

$$E = 10 \times D$$

Dónde: E: espaciamiento  
D: diámetro de los taladros vacíos

$$E = 420 \text{ mm} = 0.42 \text{ m} \sim 0.40 \text{ m}$$

Para el cálculo de número de barrenos tenemos la fórmula:

$$2 * \pi * r / 0.4$$

Numero de barrenos = perímetro de círculo / espaciamiento

Numero de barrenos = 37.69 ~ 38 barrenos para pre corte.

#### 5.6.4. Calculo de anillos para voladura controlada

El burden debe ser mayor que el espaciado para asegurar que las fracturas se “encadenen” apropiadamente entre los taladros antes que el bloque de burden se desplace, se estima con la ecuación siguiente:

$$B = 1.3 E$$

Dónde: B: burden o línea de menor resistencia.

E: espaciado entre taladros.

B = línea de menor resistencia

$$B = 1,3 * 0.40 \text{ m}$$

$$B = 0.52 \text{ m}$$

B = 0.52 m ~ 0.58 m (el anillo se precisa en el centro del macizo a volar)

Número de barrenos

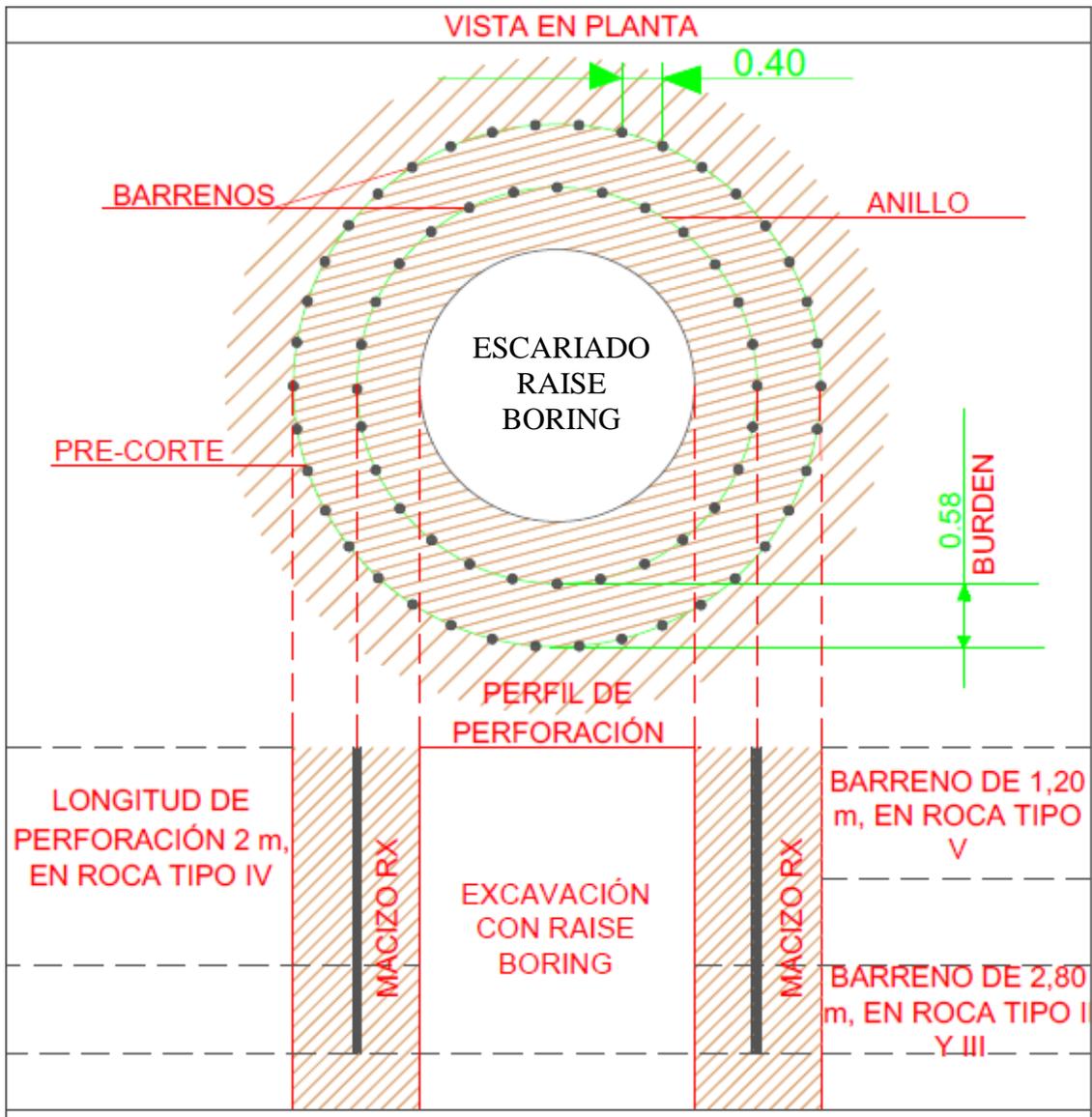
$$2 * \pi * r / 0.4$$

Radio del anillo = 1.82 m

Numero de barrenos = 28,58 ~ 29 barrenos para anillo.

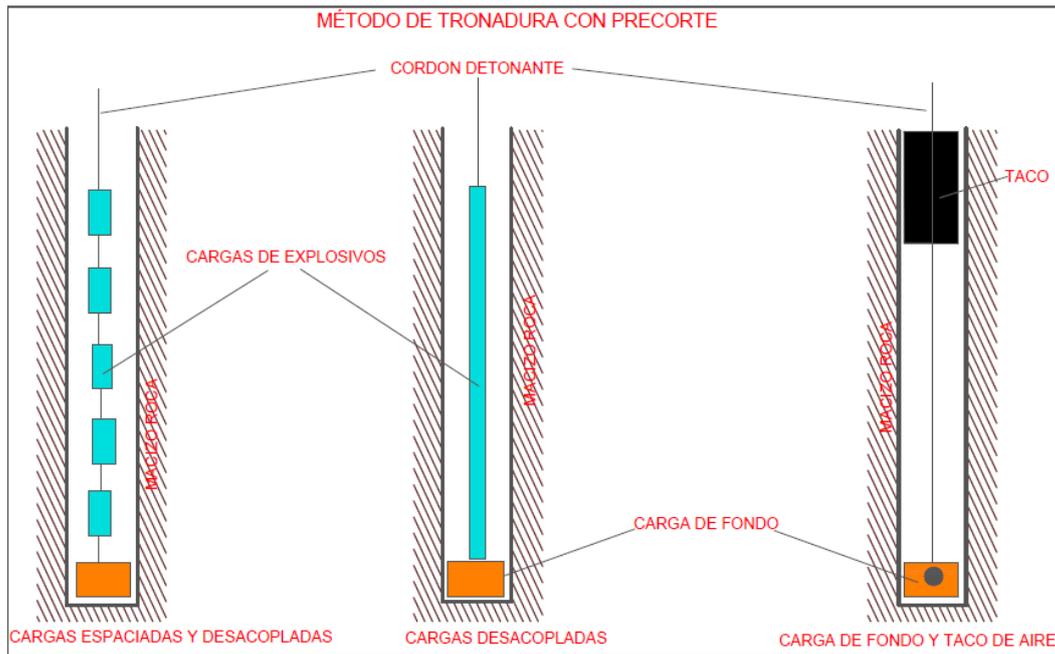
En total los barrenos son 38 precorte + 29 en el anillo= **67 barrenos**

**Grafico 20.** Malla de perforación



Fuente: Ramón E. (2015)

**Grafico 21.** Cargado de explosivos



Fuente: Ramón E. (2015)

Carga para cada barreno de precorte 0.24 kg/m

Carga total de barrenos de precorte 9.12 kg/m

Carga por cada barreno de anillo 1 = 0.50 kg/m

Carga total de barrenos de anillo 1 = 15.0 kg/m

Total de carga = 24.12 kg

Volumen de roca excavada, con avances de 1m es = 13 m<sup>3</sup>

Factor de carga = 2.3 kg/m<sup>3</sup>

**Cuadro 22.** Recomendación practica en voladura controlada.

**VOLADURA CONTROLADA**

**Control de la carga lineal**

Para taladros de contorno con diámetros de perforación entre 38 y 51 mm se recomienda la siguiente tabla práctica:

Diámetro de taladro (mm)	Diámetro de explosivo (mm)	Carga lineal (kg/m)	Espaciamiento (m)	Burden (m)
38	22	0,240	0,30 a 0,40	0,40 a 0,60
51	25	0,500	0,50 a 0,60	0,70 a 1,00

Fuente: (<http://es.slideshare.net/incognitokvs/voladura-controlada>)

## 5.7. METODOLOGÍA DE SOSTENIMIENTO

Una vez realizado los procesos mecánicos de excavación (Raise Boring) viene la etapa de ensanchamiento manual (perforación y voladura). El procedimiento para la colocación de sostenimiento será simultáneo con la excavación, utilizando martillo neumático y equipo hidráulico para la perforación de anclajes se colocara manualmente los anclajes. Se inyectara con maquinaria de inyección, se hará los lanzamientos de hormigón con pequeña lanzadora húmeda, hay que tener en cuenta que tipo de sostenimiento dependerá del tipo de roca, en ciertos tramos no será necesario. Los trabajos de sostenimiento (ver anexos) se realizarán hacia abajo mientras se vaya excavando.

Los hormigones utilizados para el sostenimiento serán transportados por tubos de 2000mm., de longitud, de 219mm., de diámetro y 7mm., de espesor, la unión de tubos se la realiza mediante acoples en los extremos; se fijara la tubería de transporte con anclaje de 4,5m., de longitud y 25mm., de diámetro cada 12m., mediante soldadura, para sujetar los tubos también se soldara cada 2m., un anillas, se fijará y colgará mediante abrazadera con dos cables de acero de 36mm., de diámetro. Durante el transporte del hormigón por la tubería se utilizara una válvula en el extremo inferior para regular la presión de flujo, la tubería de transporte trabajara a sección completa. Esta tubería de transporte se utilizara posteriormente para realizar el revestimiento con hormigón estructural del tramo vertical.

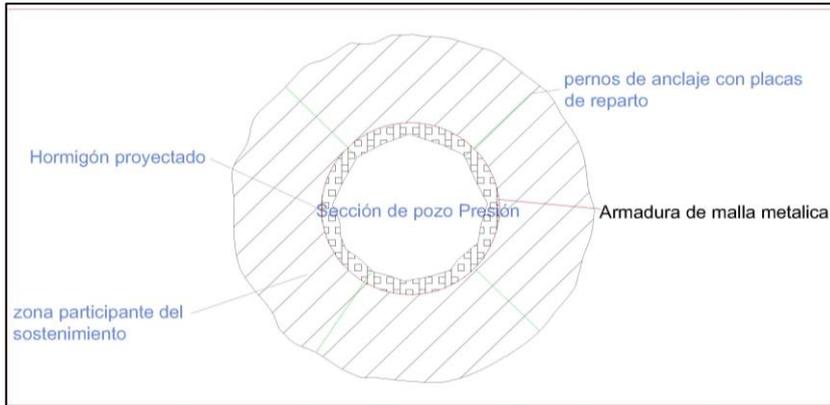
Para evitar la disgregación del hormigón durante el transporte dentro de la tubería instalada en el pozo vertical se deberá controlar el diseño de mezcla asentamiento y uso de agregados estrictamente; se recomendara utilizar agregados livianos y de alta resistencia. Antes de enviar el hormigón atreves de la tubería se descarga un volumen de mortero de las mismas características y posterior se envía el hormigón suficiente y uniformemente mezclado.

El diseño de hormigón debe ser previamente aprobado y se verificara su calidad en campo mediante pruebas, en el caso de ser necesario se utilizara el aditivo plastificante de alta resolución o un hormigón de fluido alto (que debe ser aprobado por ensayos preliminares).

Para evitar la obstrucción de la tubería de transporte se colocara un tamiz en el embudo de entrada para impedir que los agregados de granulometría grande o sobre tamaño ingresen en la misma; después del transporte de hormigón se realizara una limpieza de la tubería utilizando agua y grava para garantizar la limpieza de la misma.

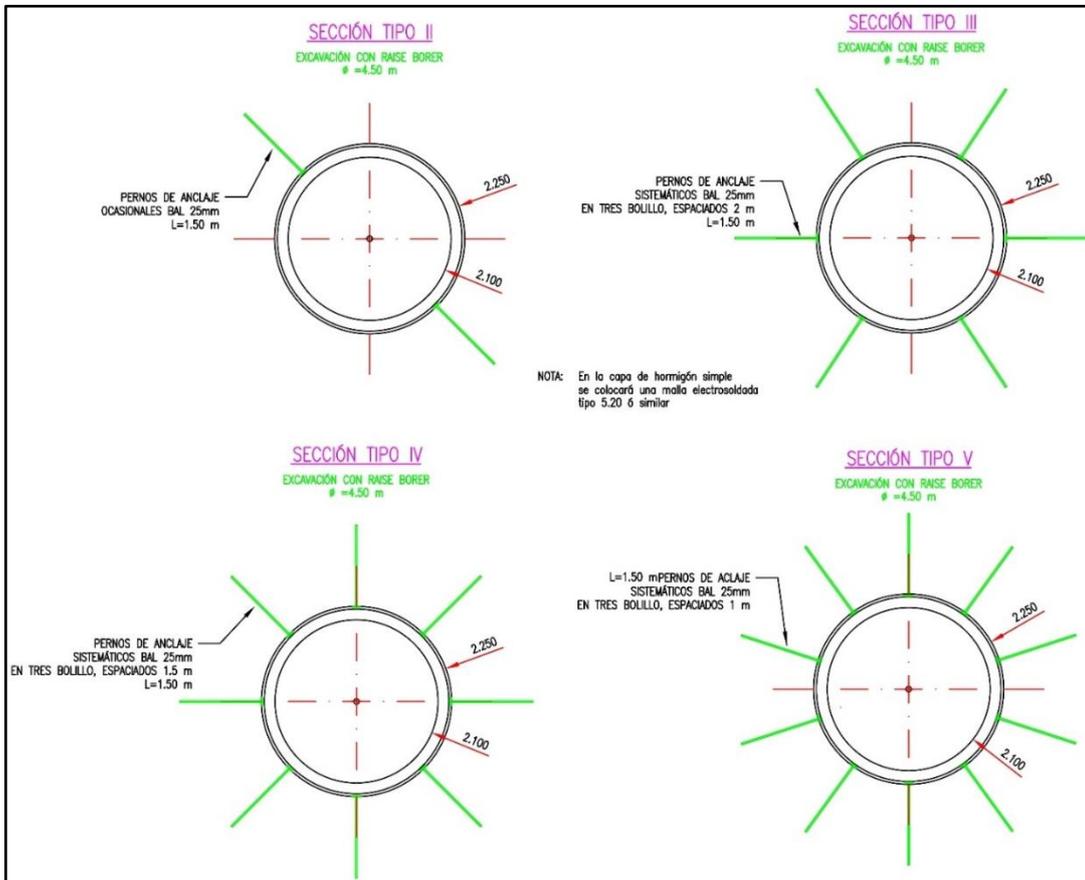
**Figura 17.** Sostenimiento

**Grafico 22.** Sostenimiento con pernos de anclaje.



Fuente: Ramón E. (2015)

**Grafico 23.** Sostenimiento en los diferentes tipos de roca



Fuente: Lombardi (2015). Informe de estudio de sostenimiento para chimenea y pozo de presión

**Cuadro 23** Resumen de las características de sostenimiento para el Pozo

CONSOLIDACIONES	EXCAVACIÓN EN CLASE II	EXCAVACIÓN EN CLASE III	EXCAVACIÓN EN CLASE IV	EXCAVACIÓN EN CLASE V
INTERVENCIÓN DE PERNOS	Ev. pernos $\varnothing = 25.4 \text{ mm}$ $L=3.00 \text{ m}$	Ev. pernos $\varnothing = 25.4 \text{ mm}$ $L=3.00 \text{ m}$	-	-
HORMIGÓN LANZADO	$s=5\text{cm}$	$s = 5+5\text{cm}$ con malla electrosoldada $\varnothing = 6 \text{ mm}$ $150 \times 150 \text{ mm}$	$s = 5+15\text{cm}$ con malla electrosoldada $\varnothing = 6 \text{ mm}$ $150 \times 150 \text{ mm}$	$s = 5+15\text{cm}$ con malla electrosoldada $\varnothing = 6 \text{ mm}$ $150 \times 150 \text{ mm}$
CERCHAS METÁLICAS	-	-	IPE 140 cada 1.00 m	IPE 140 cada 1.00 m
PARAGUAS	-	-	-	N°25 Micropilotes $L=6\text{m}$ ; $\square=114.3\text{mm}$ , $sp=8.56 \text{ mm}$ ; $\square =20^\circ$

Fuente: Lombardi (2015). Informe de estudio de sostenimiento para chimenea y pozo de presión

## 5.8. CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES

El siguiente cronograma a mencionarse se toma encuentra desde el momento que llega la maquina al sitio de trabajo, seria desde las instalación y nivelación de la máquina. El trabajo comprende las siguientes etapas: Labores de instalación de la maquina perforación piloto, perforación rimada (escariado) y desinstalación de máquina. De igual manera se mencionara las actividades de ensanchamiento convencional del pozo, comprendiendo el tiempo de excavación, ventilación, desquinche y rezaga.

A continuación se muestran los datos obtenidos y analizados, tanto el cronograma como ciclos de las diferentes actividades en los procesos de excavación con el Raise Boring y método convencional.

**Cuadro 24.** Cronograma de actividades de ejecución total con el Raise Boring.

CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES PARA EXCAVACIÓN MECÁNICA CON RAISE BORING						
Ciclo	Duración (días)	semana 1	semana 2	semana 3	semana 4	semana 5
		Los trabajos se realizar las 24				
Instalacion y nivelacion de maquina	3	■	■			
Perforación del pozo piloto de 11"	3		■	■		
Perforación rimado	20		■	■	■	■
Instalación de cabeza rimadora de 2.50 m	3				■	■
Desconexión de cabeza rimadora	3					■
Desinstalación de máquina	2					■

Fuente: Ramón E. (2015)

Se realiza los ciclos de cada actividad como se indica en la tabla anterior. Mas adelante se mostrara el tiempo total a construirse el Pozo de Presión.

**Cuadro 25.** Cronograma de actividades por pega con excavación convencional

Ciclo	Duración (h)	08h00	9h00	10h00	11h00	12h00	13h00	14h00	15h00	16h00	17h00	18h00	19h00	20h00	21h00	22h00	23h00	24h00	01h00	02h00	03h00	04h00	05h00	06h00	07h00	08h00
		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
Perforación	3,26	█	█	█	█										█	█	█	█	█							
Carga y voladura	1				█	█												█	█							
Ventilación	0,5					█													█							
Desquinche	0,5						█													█						
Rezaga	2,5							█	█	█											█	█	█			
Topografía	0,45								█													█				
Descenso de jaula en 10 m	0,33									█													█	█	█	█
Sostenimiento	4									█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█

Fuente: Ramón E. (2015)

Los ciclos de excavación convencional están indicados por cada pega o cada avance y sostenimiento de cada tipo de roca, como anteriormente se demostró que el pozo está constituido mayormente por roca tipo IV

**Cuadro 26.** Ciclo de actividades en la construcción del pozo de presión

<b>CICLO DE ACTIVIDADES DURANTE LA EXCAVACION DEL POZO DE PRESIÓN</b>							
<b>Tiempo total de excavación con Raise Boring</b>				<b>Excavacion convencional por pega</b>			
<b>ciclos</b>	<b>duración (hora)</b>	<b>Personal</b>	<b>Numero de personas</b>	<b>Ciclos</b>	<b>duracion (h)</b>	<b>Numero de personas</b>	
Instalación y nivelación de maquina	72	Ingeniero residente	1	Perforación	3,26	4	
Perforación del pozo piloto de 11"	81,25	Insp. de seguridad	1	Carga y voladura	1	4	
				Ventilación	0,5	3	
Perforación rimado	466,6	Supervisor de obra	1	Desquinche	0,5	1	
				Rezaga	2,5	3	
Instalación de cabeza rimadora de 2.50 m	72	Operador de R.B	1	Topografía	0,45	3	
				Descenso de jaula en 10 m	0,33	3	
Desconexión de cabeza rimadora	72	Ayudantes de maquina Raise Boring	2	Sostenimiento	4	4	
Desinstalación de maquina	48						
<b>Total</b>	<b>811,85</b>		<b>6</b>	<b>total</b>	<b>12,54</b>	<b>25</b>	
Los trabajos realizados durante la construcción del pozo se realizaron las 24 horas con diferentes grupos de turno, tanto en la excavación con el Raise Boring y excavación convencional. Los ciclos o rendimientos aproximados no se consideran los tiempos muertos.	<b>Avance por horas con Raise Boring</b>			<b>Avance por pega</b>	<b>Tiem. Total de ejecución con perf. Y voladura</b>	<b>Longitud del pozo</b>	<b>Tiempo total de ejecución</b>
	avance (m)	Tiempo (hora)	Tipo de roca	2,80 m en Roca II Y III			
	0, 20 a 0,25	1	V	2 m en Roca IV			
	0,25 a 0,30	1	IV				
	0,30 a 0,40	1	II Y III				
Se tomo un promedio de todos los avances para su respectivo análisis (0,283)				1,20 m en Roca V	819,49 (h)	<b>130,65 m</b>	1631,34 (h) Días
							67,97 (días)

Fuente: Ramón E. (2015)

## **5.9. SEGURIDAD Y ASPECTO MEDIO AMBIENTE**

Durante la construcción del pozo de presión, como en toda obra subterránea existen exposiciones de peligro durante los trabajos a ejecutarse, tanto trabajadores como maquinaria, por eso es necesario un plan de seguridad y un plan de contingencia. Existen normas de seguridad que exigen el cumplimiento de las mismas, para efectuar los trabajos en las condiciones seguras.

A continuación se mencionan medidas y equipo de protección personal (epp).

### **5.9.1. Equipo de protección personal (epp)**

El EPP se a utilizar durante la construcción del pozo de presión cumplen con las especificaciones técnicas, además deben ser capaces de evitar, prevenir cualquier tipo de lesión y ser cómodos.

Los elementos indispensables para proteger la integridad de los trabajadores son:

- Casco
- Guantes
- Protección auditiva
- Respirador
- Cinturón de seguridad
- Lámpara unipersonal
- Botas punta de acero
- Ropa impermeable
- Lentes de seguridad

### **5.9.2. Identificación y señalización**

Estas nos ayudan a informar a las personas sobre las conductas adecuadas a orientarnos a cierto lugar, a fin de evitar cualquier tipo de accidente.

En la construcción del pozo se deberá señalizar las diferentes áreas de trabajo tanto las áreas indirectas (ventana N°4 y Túnel de Presión) como directas (pozo de

Presión), para evitar actos inseguros, así como las obligaciones de los trabajadores. A continuación se nombran los diferentes tipos de señalizaciones.

**Grafico 24** Señales de Advertencia



Fuente: Normas Universales

**Grafico 25.** Señales de Obligación



Fuente: Normas Universales

**Grafico 26.** Señales de Peligro



Fuente: Normas Universales

**Grafico 27.** Señales de Evacuación



Fuente: Normas Universales

**Grafico 28.** Señales de información



Fuente: Normas Universales

**Grafico 29.** Señales de Evacuación

Fuente: Normas Universales

### 5.9.3. Medidas de seguridad en la perforación

La perforación se realiza cuando se utiliza explosivos para fragmentar la roca. Las medidas de seguridad generales son:

- Antes de la perforación, lavar el frente y sanearlo para asegurarse que no quedan restos de explosivos.
- Nunca se deben usar los fondos de los barrenos de la pega anterior como emboquille de los nuevos taladros.
- Los fondos de los barrenos suelen concentrarse en la zona del cuele, por lo que se recomienda descentrar ligeramente el cuele y alternar su posición en cada pega.
- Finalizada la perforación, se revisarán todos los barrenos que no estén tapados, ya que cuando comienza la carga del explosivo no se puede perforar.

### 5.9.4. Medidas de seguridad previas antes de la voladura

Hay que mencionar que en el manejo del explosivo los accidentes se producen debido a la mala operación de carga y manipulaciones no adecuadas ya que los explosivos son frágiles a ciertas acciones, especialmente los detonadores, aquí no existe errores, el primer error puede ser el último. Las medidas de seguridad son

- No permitir el ingreso a ningún trabajador mientras no esté utilizando el EPP según los requerimientos.
- En cada turno de voladura se movilizara exclusiva y únicamente el material explosivo, desde el polvorín.
- Dentro del túnel, se ubicaran los explosivos y detonadores de forma separada en dos cajas, metálicas con cerraduras, la distancias de las cajas será mínimo de dos metros.
- Antes de realizar la perforación se verificara la existencia de tiros quedados o tiros fallados. En caso de detectarse alguno se sacara con aire comprimido, se colocara en cajas especiales para su respectivo tratamiento.
- Absolutamente prohibido perforar los barrenos quedados.
- Antes de iniciar la carga de explosivos se comunicara al fiscalizador o inspector encargado. Los técnicos de voladura comunicaran a los auxiliares o encargados dentro del campo de seguridad, donde procederán a bloquear los ingresos de personal al frente de carga, seguidamente se enciende las alarmas de visuales y auditivas.
- Absolutamente prohibido el uso de fuego durante la instalación de detonadores.
- Previo a la carga se limpiaran y revisaran los barrenos, se prohíbe el uso de herramientas metálicas.
- Tomar en cuenta la longitud de la mecha de seguridad para realizar el prendido de disparo, se tomara en cuenta la velocidad de combustión que luego del encendido el personal pueda recurrir a los sitios seguros a una distancia de 250 m
- La carga y voladura deberá realizar personal calificado.

### **5.9.5. Medidas de seguridad, después de la voladura.**

Una vez realizado la voladura, también existen normas de seguridad y estas son:

- Tres minutos después de haber ejecutado la pega, el personal de seguridad, encenderá los ventiladores, después de 30 minutos se permitirá el ingreso de personal.
- Antes y después de la rezaga se verificara si existen sobre excavaciones y la existencia de posibles o desprendimientos de grandes bloques, conjuntamente se verificara con el de seguridad y el geólogo encargado del frente. En caso de existencia se procederá a tomar medidas
- Antes de realizar el ciclo de perforación, realizar el desquinche, esta puede ser mecánica o manualmente.

### **5.9.6. Medidas de seguridad en el sostenimiento**

Al ejecutar el sostenimiento en un pozo vertical, esta se divide en un gran número de trabajos siendo expuestos a posibles causas de accidentes. A continuación se describen unas normas de carácter general:

- El tipo de sostenimiento será el adecuado al terreno en el que se esté trabajando.
- Una vez excavado el terreno, el sostenimiento se colocará tan pronto como sea posible.
- Sanear primero la zona donde se coloque el sostenimiento, así se disminuirá los riesgos de accidentes.

El saneo se puede realizar manualmente o por medio de máquinas, siendo este el más recomendable. Las causas de accidentes en el saneo del frente son las siguientes:

Aplastamiento por caída de rocas

- Caída del personal que realiza este trabajo desde máquinas que no están diseñadas para esta labor.

Las medidas de seguridad más importantes son:

- Utilizar maquinaria adecuada.
- En el caso del saneo manual, utilizar plataformas de trabajo.
- Limitar la entrada de personal a las áreas donde se esté trabajando.
- Trabajar desde una zona ya saneada o revestida para eliminar el riesgo de caída de bloques.

En la colocación de mallas, marcos metálicos o cerchas para el refuerzo del techo, hastiales y de bulones para el sostenimiento de bloques, al realizar estos trabajos se tiene una serie de peligros, tales como: trabajar a cierta altura o acarrear materiales pesados o cortantes.

Las medidas de seguridad básicas se pueden resumir en las siguientes:

Para trabajos en altura, usar siempre plataformas de trabajo y equipos de soporte adecuados.

- Usar guantes de protección
- No realizar otras tareas en el frente o en la zona de refuerzo
- Los bulones se usaran y ajustarán al tipo de terreno para el cual han sido concebidos
- La malla se colocará entre el terreno y la placa de presión del perno.

Al realizar los trabajos de hormigón proyectado las medidas de seguridad están referidas tanto a proyectar hormigón como a la manipulación del cemento y de la maquinaria empleada. Los riesgos que se presentan son los siguientes:

- Caída del personal desde maquinas no aptas para proyectar las zonas más altas.
- Riesgos de enfermedades y molestias en ojos y vías respiratorias, ocasionadas por el polvo.
- Rebote del material proyectado, producto de un mal control de la presión de salida

Las medidas a tomar en cuenta para evitar estos accidentes son las siguientes:

- Usar plataformas de trabajo adecuadas para trabajar a una cierta altura
- Utilizar siempre el equipo de protección personal.
- Durante los trabajos de hormigón proyectado, no se realizará ningún otro tipo de trabajo en las cercanías.
- Iluminación perfecta del área de trabajo

Las medidas de seguridad en la instalación de cerchas y cuadros metálicos son las siguientes:

- El cuadro metálico debe colocarse en contacto con el terreno y elegir aquel que pueda soportar la presión del terreno.
- No usar cerchas ni cuadros que estén oxidados o en malas condiciones
- Los huecos que quedan entre el cuadro metálico y el terreno se deben rellenar mediante madera o chapas de acero. De esta manera el cuadro entra en carga lo más rápido.

#### **5.9.7. Medidas de seguridad en la carga y transporte del escombros**

- Utilizar vestimenta de alta visibilidad.

- Respetar los límites de velocidad.
- Disponer de plataformas desde las cuales se puedan hacer giros y cambios de dirección.

#### **5.9.8. Aspectos medio ambiente.**

El pozo de presión, como ya se menciona anteriormente es una obra subterránea donde no influye directamente a la superficie del medio ambiente, pero indirectamente si influye debido el acceso al interior del pozo. La vía de acceso por ventana cuatro que sirve como acceso al codo superior del pozo (ver figura...) Otro aspecto a considerar donde afecta indirectamente es el depósito de material excavado hacia la escombrera, afectando una área de unos 5000 m<sup>2</sup>, tomando en cuenta que también se deposita material de los demás frentes de trabajo. La construcción de pozo exige trabajos estrictos por lo mismo esta expuestos a condiciones de impactos medio ambientales al construir el pozo agua, aire y suelo

#### **5.9.9. Alteración de la calidad del aire**

La calidad del aire se encuentra estrechamente relacionada a dos tipos de emisión atmosférica: el polvo producto de la voladura o la excavación mecánica y por las concentraciones de gases nocivos que se pueden acumular dentro del túnel.

#### **5.9.10. Emisión de polvo durante la excavación**

El polvo consiste en un gran número de pequeñas partículas sólidas provenientes del terreno o de los materiales utilizados que son suspendidas y arrastradas por el aire. Sus tamaños oscilan entre 1 y 100 µm y son causa de problemas tanto como para el personal y el medioambiente. Algunas de estas partículas son mantenidas en suspensión en el aire formando nubes polvorientas, mientras que otras se depositan generando suciedad.

Las principales causas que provocarán la emisión de polvo en la fase de construcción son:

- En la realización de voladuras, al fragmentarse y proyectarse la roca se producirá de forma puntual una gran cantidad de polvo en el frente de trabajo.
- En la fragmentación de la roca mediante las brocas del equipo Raise Boring se genera polvo durante toda la fase de excavación.

#### **5.9.10.1. Prevención y control del polvo**

La generación de polvo en este tipo de obras es inevitable, sin embargo se deben considerar medidas de atenuación para preservar la salud de los trabajadores y obtener los resultados esperados en el desarrollo de las actividades.

Se puede considerar las siguientes medidas para la mitigación de este impacto:

- Realizar diagramas de ventilación adecuados para la correcta evacuación del polvo producido durante los trabajos de excavación.
- Realizar mediciones de material articulado frecuentemente para llevar un control de los parámetros.

Por otra parte las labores de excavación realizadas por medio de perforación y voladura generan gases que en concentraciones determinadas pueden llegar a ser tóxicos. Por tal es necesaria la medición frecuente de la concentración de los gases en función de la norma.

#### **5.9.11. Residuos sólidos y líquidos**

Las actividades en el trabajo de obra civil generan desechos, los cuales pueden ser sólidos o líquidos. Dentro de una obra subterránea se pueden generar desechos sólidos peligrosos para lo cual se debe mantener una adecuada gestión de los mismos. También se pueden producir desechos comunes los cuales deben ser clasificados en la fuente para cumplir con la responsabilidad ambiental de la empresa.

Los residuos líquidos generados durante la perforación corresponderán al agua para el enfriamiento de las brocas de los equipos de perforación y para la ventilación que se lo realiza con agua presurizada. Estos residuos deben ser canalizados hacia el exterior para poder sedimentarlos y el agua libre de partículas pueda ser descargada al ambiente. Se debe evitar la mezcla del agua de infiltración con el agua de proceso.

## VI. COSTOS CONSTRUCTIVOS DEL POZO DE PRESIÓN

### 6.1. COSTOS DEL ENSANCHAMIENTO CON MÉTODO CONVENCIONAL

Los costos ya fueron establecidos por la constructora China en el 2014 (**¡Error! o se encuentra el origen de la referencia.**), para este estudio calculamos los metros cúbicos de excavación y con los precios unitarios obtenemos el valor total de la excavación por el método convencional (voladura).

Para el cálculo del volumen del ensanchamiento, tomamos el diámetro de todo el pozo (4,8 m) y obtenemos el volumen total.

$$\text{Volume total} = \pi * (2,4)^2 * h$$

$$\text{Volume total} = 2.352,42 \text{ m}^3$$

Volumen de ensanchamiento = volumen total – volumen de Raise Boring

$$\text{Volumen de ensanchamiento} = 1714,35 \text{ m}^3.$$

El precio unitario de cada metro cubico por la excavación convencional es de 154,4 \$, dándonos un total de **264 707,15 USD \$** (doscientos sesenta y cuatro mil con quince centavos) (China National Electric Engineering, 2014)

### 6.2. COSTOS DE EXCAVACIÓN CON RAISE BORING.

La construcción del pozo lo realizara una empresa sub-contratista, por lo tanto para obtener los costos se basó en la cotización entregado por la misma empresa, siendo el precio unitario de 227,80 por m<sup>3</sup>.

Para el cálculo del volumen de la excavación con Raise Boring (escariado), tomamos el diámetro del escariador (1.25, 8 m) y obtenemos el volumen total.

$$\text{Volume total} = \pi * (1,25)^2 * h$$

$$\text{Volume total} = 641,32 \text{ m}^3$$

El precio unitario de cada metro cubico por la excavación mecánica es de 227,88 dándonos un total de **146.144,002 USD \$** (ciento cuarenta y seis mil ciento cuarenta y cuatro, dólares americanos). (Empresa Tumi Contratistas Mineros, 2012)

### 6.3. COSTO TOTAL DEL POZO DE PRESIÓN

$$C_T = 264.707,15 + 146.144,002$$

$C_T = 410.851,15$  USD \$ (cuatrocientos diez mil ochocientos cincuenta y uno, dólares americanos)

**Cuadro 27** Costos y precios unitarios de la constructora China

Descripción	Unidad	Cantidad	US \$	
			Precio Unitario	Precio Total
<b>POZO DE PRESION</b>				<b>2.787.200,54</b>
<b>Excavaciones de rellenos a cielo abierto</b>				<b>2.143,75</b>
Sobre acarreo	m <sup>3</sup> - km	8.932,30	0,24	2.143,75
<b>Excavaciones Subterráneas</b>				<b>1.673.696,00</b>
Excavación túnel método convencional	m <sup>3</sup>	10.840,00	154,4	1.673.696,00
Excavaciones de pozos con Raise Boring	m <sup>3</sup>	5.640,00	288,66	1.628.042,40
<b>Soportes de Roca</b>				<b>306.777,21</b>
Soporte con cerchas metálicas en túneles	ton	41	4381,76	179.652,16
Pernos de anclaje Bal L=1,5 D=25mm	u	1.285,00	98,93	127.125,05
<b>Hormigón</b>				<b>597.744,48</b>
Hormigón para revestimiento de túneles	m <sup>3</sup>	2.363,00	252,96	597744,48
<b>Hormigón Lanzado</b>				<b>178.997,15</b>
Hormigón Lanzado túneles sin fibra	m <sup>3</sup>	295,00	266,85	84.620,75
Hormigón Lanzado túneles con fibra	m <sup>3</sup>	295,00	319,92	94.376,40
<b>Inyecciones a Presión</b>				<b>27.841,95</b>
Inyecciones a presión de contacto Hormigón-roca en tubería de presión	ton	45,00	618,71	27.841,95

Fuente: Ramón E. (2015)

## VII. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 7.1. CONCLUSIONES

- La información del sondeo XPP-02 permitió tener información de las litologías que atravesará el pozo de presión del PH. Quijos, en base al registro del sondeo se pudo definir las unidades geotécnicas.
- En base al sondeo xpp-02 se obtuvo: de 0 a 14,10 lavas basalto andesíticas, 14,10 a 16,00m escoria basáltica, 16,00 a 42,10 lahar brechoso, 42,00 a 65,00 esquisto cuarzo sericítico muy meteorizado, 65,00 a 83,00 esquisto cuarzo grafitico completamente meteorizada, 83,00 a 96,90 esquisto cuarzo sericítico, 96,90 a 99,80 zona de falla, 99,80 a 119,60 esquisto cuarzo sericítico muy meteorizado y 119,60 a 130,65 esquistos micáceos. En base a toso esto el método más adecuado es el Raise Boring.
- La calificación del macizo rocoso mediante el Rock Mass Rating RMR, empezó con los datos del sondeo XPP-02, luego de aplicar el método se tienen tres tipos de roca y una fuera de clasificación por ser una zona de falla. El pozo de presión no tendrá roca tipo I, sino solamente roca tipo II, III, IV y V. La altura total del pozo es 130m y el porcentaje de excavación por tipo de roca es: tipo II = 4%, tipo III = 32 %, tipo IV = 56 % y la roca tipo V = 8 %. En base a esta calificación más de la mitad del pozo de presión será excavado en roca tipo IV.
- el sondeo XPP-2 fue ejecutado con velocidades mayores a los 4 cm/min, lo que sirve como dato para la selección de la selección de la broca y rima del Raise Boring.
- Un 60 % del sondeo indica una alta meteorización, lo que refleja la exposición de la roca metamórfica a agentes erosivos, en este caso los medios fluviales, por lo que no se debe descartar la posibilidad de presencia de lentes de arena en la excavación del Pozo de Presión.

- Luego de ejecutar el método de excavación del Raise Boring, el sobrante de roca hasta alcanzar el diámetro del pozo de presión del diseño, se lo realizará por voladura convencional.
- Para el cálculo de la voladura se efectuó carga bajas y espaciamientos cortos con el objetivo de tener voladuras controladas y evitar al máximo la sobrepresión en el macizo.
- El ensanchamiento por el método convencional se realizara avances en una sola etapa de voladura ya que el área a excavar es de 1.15 m de radio, teniendo como cara libre un radio de 1.25 m de radio, escariado con el Raise Boring.
- El precio total de construcción del pozo de presión es calculado de la suma de dos precios diferentes, uno por método convencional y otro por Raise Boring. Los precios unitarios fueron medidos en metros cúbicos y tomados de la oferta técnica económica de la empresa China National Electric Engineering. El precio total de la excavación del pozo de presión es **410 851, 15 USD \$** (cuatrocientos diez mil ochocientos cincuenta y uno, dólares americanos). En este precio no están considerado los sostenimientos.

## 7.2. RECOMENDACIONES

- La roca tipo V que corresponde a los esquistos grafiticos debe tener como un factor de amenaza la deformación de las paredes del pozo de presión, se recomienda realizar medidas topográficas de la sección o medidas de convergencias.
- La roca tipo V por ser una de zona de falla se debe tener la mayor precaución al ejecutar la construcción del pozo de presión y el sostenimiento debe ser inmediato ya que las fuerzas actúan de forma vertical y horizontal.
- Al tener excavado un pozo de 2,50 m de diámetro con el Raise Boring, la estabilidad de las paredes es clave para el buen término de la construcción. Se

recomienda tener varias medidas de seguridad para que se disminuya el riesgo de caídas por el pozo del Raise Boring.

- Se recomienda que en la fase de construcción, tanto en la perforación del pozo piloto y escariado, especialmente en roca tipo V, estén presentes especialistas técnicos, en especial geólogos con varios criterios, ya que la geología por asumir como reales, varias interpretaciones que puede llegar a cometer errores graves, como fue el caso del Proyecto Hidroeléctrico Quijos.
- Se recomienda el método de Raise Boring ya que sus ventajas radican en: mayor seguridad para el personal, ya que no se precisa que los excavadores se encuentren dentro de la excavación durante la realización del pozo. También no es necesario que los excavadores dispongan de una mayor protección que en los métodos convencionales.

## **VIII. RESUMEN**

La siguiente investigación propone: la construcción del Pozo de Presión en el proyecto Hidroeléctrico Quijos 50 Mw, ubicado en la provincia de Napo, cantón Quijos, parroquia Cuyuja; analizando y proponiendo todos los parámetros técnicos a emplearse, como la interpretación del sondeo XPP-02 y la clasificación de las unidades geotécnicas, el método de excavación a emplearse es el método Raise Boring y ensanchamiento manual, estos métodos se subdividen en tres etapas principales para su construcción; la primera consta de un sondeo piloto de 0,28 m de diámetro, seguido por una excavación de escariado de 2,50 m de diámetro; una vez terminada la excavación con el Raise Boring, finalmente se excava por el método convencional por perforación y voladura para concluir el diámetro final de 4,80 m, se lleva una interpretación de registro de mapeo Geológico a detalle, la aplicación del sostenimiento para cada tipo de roca viene dado en los planos de diseño ya definidos, dependiendo del tipo de roca el sostenimiento será inmediato o dentro de una longitud determinada. En base a la información del sondeo XPP-02 se concluye que se atravesara por una litología de lavas basálticas andesíticas, escoria basáltica, lahar brechoso y esquistos cuarzo sericítico, grafitico, además en un 56% de roca tipo IV. Para la construcción del pozo de presión se recomienda que la fortificación se refuerce o se modifique en los planos ya que las fuerzas que actúan son verticales y horizontales, especialmente en roca tipo V y zonas de falla.

### **Palabras Claves**

Pozo de Presión - Unidades Geotécnicas - Raise Boring - Mapeo Geológico - Litología  
- Falla geológica.

**Por:** Edwin Ramón Redrovan

## IX. BIBLIOGRAFIA

- Battaglia, D. (2015). *Informe Geológico Geotecnico Actualizado con la investigaciones adicionales ejecutadas en los años 2014 - 2015*. Italia.
- Azurin Garcia Ruben, Q. M. (2013). *Raise Boring*. Apurimac.
- Baldock, J. (1982). *Geología del Ecuador*. Quito.
- Barberi, F., Coltelli, M., Ferrara, G., Innocenti, F., Navarro, J., & Santacroce, R. (1988). *Plio-Quaternary volcanism in Ecuador*. *Geol. Mug.* 125, , pp.
- Battaglia, D. (2002). *Interpretación foto geológica de las zonas de cuenca alta de los ríos Quijos y Casanga y cuenca media del Río Antisana*. Quito.
- Boar de expertos. (2013). *Situación actual de la obra y desarrollo de la asesoría*. Quito - Ecuador.
- Boar de expertos. (2014). *Actualización de la obra y desarrollo de la asesoría*. Quito - Ecuador.
- British Geological Survey. (1994). *The metamorphic belts of Ecuador: Overseas Memoir 11*. UK. UK.
- China National Electric Engineering. (2014). *Lista de precios unitarios del PH. Quijos*. Quito.
- Copco, A. (2000). *Manual de perforación de rocas*.
- Dirección Nacional de Geología DGGM. (1986). *Mapa geológico de Pintag*. Quito.
- Empresa de fabricación de explosivos. EXPLOCEN. (2014). *Catalogo de productos EXPLOCEN*. Quito, Ecuador.
- Empresa Electrica Quito. (2001). *Proyecto Hidroeléctrico Quijos. Fase II Diseño de Licitación. Informe general*. Quito.
- Empresa Eléctrica Quito. (2003). *Proyecto Hidroeléctrico Baeza. Diseño de licitación. Estudio de impacto ambiental*. Quito.
- Empresa Tumi Contratistas Mineros. (2012). *Cotización Raise Boring*. Quito.
- Estudios de Hidrogeología, Geología y Geotécnia. HIGGECO. (2014). *Informe de perforación*. Quito.
- Hall , M., & Beate, B. (1987). *Evaluación de los peligros potenciales de erupciones futuras en la zona del volcán Antisana*. Quito.
- Hall, M., & Beate, B. (1991). *El volcanismo pliocuaternario en los Andes del Ecuador*. Quito: Nacional.
- Hall, M., & Mothes, P. (2008). *The Chacana Caldera Complex - Ecuador*. Queretaro Mexico.

- Integral, A. . (2013). *Informe Geológico de avance. Proyecto Hidroeléctrico Quijos*. Quito - Ecuador.
- Integral, A. . (2014). *Formatos de geotécnica para el proyecto hidroeléctrico Quijos*. Quito.
- J., S., Hall, M., & Echeverría, M. (2008). *Investigaciones geológicas a nivel de factibilidad de las obras que componen la primera y segunda etapa del proyecto de agua potable Río Orientales*. Quito.
- Jimeno, L. (1994). *Manual de perforación y voladura de rocas*. España: Instituto tecnológico geominero IGME.
- Jimeno, L. (1996). *Manual de túneles y obras subterráneas. Segunda Edición*. Madrid España.
- M., H. (1977). *El volcanismo en el Ecuador*. Quito.
- M., L. (s.f.). *El complejo de Napas de Cuyuja de la Cordillera Real*. Quito: Boletín Geológico Ecuatoriano Vol. 3.
- P., D. (2000). *Breve léxico estratigráfico del Ecuador*. Quito: Prodeminca.
- Quiroz, E. M. (s.f.). *Ejecución de chimenea con raise boring. (Informe técnico)*. Ecuador.
- S.A., E. (2008). *Manual práctico de voladura*. Lima, Perú.
- T., B. Z. (1989). *Engineering Rock Mass Classifications*. Wiley, New York.
- Técnica, D. d. (2011). *Slideshare*. Obtenido de <http://es.slideshare.net/incognitokvs/voladura-controlada>

**X. ANEXOS**

**ANEXO A: Glosario De Términos**

**A**

**Andesita:** La andesita es una roca ígnea volcánica de composición intermedia

**Aluvial:** Son suelos de origen fluvial, poco evolucionados aunque profundos

**Arrastre torrencial:** materiales arrastrados por la fuerza del agua por lo general se denomina cuando estas arrastran en grandes masas.

**Arenas:** partículas de sedimentos con tamaños entre a 0.062 mm y 2.0 mm

**B**

**Basamento:** Masa de rocas formadas por material subyacente o más antiguo

**D**

**Discontinuidad:** Se llama así a la interrupción en una serie estratigráfica, ésta puede ser laguna o discordancia. Cuando la sedimentación tiene lugar sin interrupción origina una estratificación concordante, en la que todos los estratos son paralelos. Su interrupción crea una laguna estratigráfica.

**Depósitos aluviales (aluviones):** Material detrítico, transportado por un río y depositado, casi siempre temporalmente, en puntos a lo largo de su llanura de inundación. Están normalmente compuestos por arenas y gravas (terrazza fluvial, rejuvenecimiento, depósitos coluviales, depósitos eluviales).

**E**

**Estratigrafía:** Parte de la Geología que estudia la yuxtaposición y sucesión cronológica de los terrenos, es decir, estudia los estratos, los describe y establece un orden de sucesión cronológica a escala Terrestre.

**Estudio de Impacto Ambiental (EIA):** Informe escrito, compilado antes de la decisión de producción, que revisa los efectos que las actividades mineras propuestas tendrán en los alrededores naturales.

## G

**Geomecánica:**(procedente del prefijo griego geo-significando "tierra"; y "mecánica") implica el estudio geológico del comportamiento del suelo y rocas. Son las dos principales disciplinas de la geomecánica mecánica de suelos y mecánica de rocas.

## H

**Hidrogeología:** Se ocupa principalmente del estudio de las aguas continentales, en especial de las aguas subterráneas.

**Hidrogateo:** mide el grado de fracturamiento y presiones de agua en un macizo.

## J

**Jaula:** Una jaula es una caja cerrada con paredes hechas de enrejados de alambre de metal, madera, mimbre u otro material resistente, que se utiliza para mantener animales cautivos, en especial los pájaros. La forma y tamaño depende del animal al que se quiera capturar y suelen tener en su interior recipientes para la comida y bebederos para el agua.

## L

**Lahar:** Corrientes de lodo y depósitos que resultan de aguaceros torrenciales, de masas fundidas de nieve y hielo o de la ruptura de un lago de cráter, que actúan sobre el material piro clásticos de grano fino y suelto (ceniza) en los flancos de un cono volcánico.

**Lavas volcánicas:** Son rocas fundidas de aspecto viscoso hasta que se solidifican.

**Lugeon:** es un ensayo que se realiza en el campo para estimar la permeabilidad del suelo. Se aplica principalmente en rocas fracturadas.

**Lefranc:** son ensayos de permeabilidad, in situ que se aplica con mayor frecuencia. Se aplica principalmente en suelos sueltos.

## M

**Meteorización:** Ataque inicial de la roca en su emplazamiento, que permite la liberación de partículas (término que se refiere a fragmentos, no a componentes elementales, y que pueden ser de muy diverso tamaño) que podrán ser removidas.

**Mapeo Geológico:** son registros y controles litológicos y estructurales de mineralización, así como también en túneles se realiza descripciones de la calidad del macizo rocoso.

## P

**Paleocauce:** cauce abandonado por un río, también suele llamarse madre vieja.

**Pozo:** Es una labor vertical o inclinada, tanto en minería o en una obra civil, se utiliza como acceso desde la superficie o desde un nivel a otro.

## R

**Resistencia de materiales:** Es una disciplina de la ingeniería mecánica, la ingeniería estructural y la ingeniería que estudia los sólidos de formables mediante modelos simplificados. La resistencia de un elemento se define como su capacidad para resistir esfuerzos y fuerzas aplicadas sin romperse, adquirir deformaciones permanentes o deteriorarse de algún modo.

**Rocas metamórficas:** Son las que se forman a partir de otras rocas mediante un proceso llamado metamorfismo. rocas ígneas, rocas sedimentarias u otras rocas metamórficas, cuando éstas queda alrededor de 1.500 bar), altas temperaturas (entre 150

y 200 °C) o a un fluido activo que provoca cambios en la composición de la roca, aportando nuevas sustancias a ésta.

## S

**Sondeo geotécnico:** Es un tipo de prospección manual o mecánica, perteneciente a las técnicas de reconocimiento geotécnico del terreno, llevadas a cabo para conocer sus características. Se trata de perforaciones de pequeño diámetro, (entre 65 y 140 mm) que, aunque no permiten la visión "in situ" del terreno, de ellos se pueden obtener testigos del terreno perforado, así como muestras, y realizar determinados ensayos en su interior.

## T

**Topografía:** Es la ciencia que estudia el conjunto de principios y procedimientos que tienen por objeto la representación gráfica de la superficie terrestre, con sus formas y detalles; tanto naturales como artificiales.

**ANEXO B: Cajas de núcleos, fotos de XPP-02**

PROYECTO HIDROELÉCTRICO QUIJOS  
HIGGECO - ASTEC-INTEGRAL - CELEC E.P.



SONDEO: **xPP-2**

UBICACIÓN: **TÚNEL PRINCIPAL**

CAJA No. 1 DE 30  
DESDE: 0.00 m  
HASTA: 4.00 m



CAJA No. 2 DE 30  
DESDE: 4.00 m  
HASTA: 8.00 m



CAJA No. 3 DE 30  
DESDE: 8.00 m  
HASTA: 12.00 m



CAJA No. 4 DE 30  
DESDE: 12.00 m  
HASTA: 16.00 m



PROYECTO HIDROELÉCTRICO QUIJOS  
 HIGGECO - ASTEC-INTEGRAL - CELEC E.P.



SONDEO: XPP-2

UBICACIÓN: TUNEL PRINCIPAL

CAJA No. 5 DE 30  
 DESDE: 16.00 m  
 HASTA: 20.00 m



CAJA No. 6 DE 30  
 DESDE: 20.00 m  
 HASTA: 24.00 m



CAJA No. 7 DE 30  
 DESDE: 24.00 m  
 HASTA: 28.00 m



CAJA No. 8 DE 30  
 DESDE: 28.00 m  
 HASTA: 32.00 m



PROYECTO HIDROELÉCTRICO QUIJOS  
HIGGECO - ASTEC-INTEGRAL - CELEC E.P.



SONDEO: **xPP-2**

UBICACIÓN: **TÚNEL PRINCIPAL**

<p>CAJA No. 9 DE 30 DESDE: 32.00 m HASTA: 36.00 m</p>	
<p>CAJA No. 10 DE 30 DESDE: 36.00 m HASTA: 40.00 m</p>	
<p>CAJA No. 11 DE 30 DESDE: 40.00 m HASTA: 44.00 m</p>	
<p>CAJA No. 12 DE 30 DESDE: 44.00 m HASTA: 48.00 m</p>	

PROYECTO HIDROELÉCTRICO QUIJOS  
HIGGECO - ASTEC-INTEGRAL - CELEC E.P.



SONDEO: XPP-2

UBICACIÓN: TUNEL PRINCIPAL

CAJA No. 13 DE 30  
DESDE: 48.00 m  
HASTA: 52.00 m



CAJA No. 14 DE 30  
DESDE: 52.00 m  
HASTA: 56.00 m



CAJA No. 15 DE 30  
DESDE: 56.00 m  
HASTA: 60.00 m



CAJA No. 16 DE 30  
DESDE: 60.00 m  
HASTA: 64.00 m



PROYECTO HIDROELÉCTRICO QUIJOS  
 HIGGECO - ASTEC-INTEGRAL - CELEC E.P.



SONDEO: **xpp-2**

UBICACIÓN: **TUNEL PRINCIPAL**

<p>CAJA No. 17 DE 30                  DESDE: 64.00 m                  HASTA: 68.00 m</p>	
<p>CAJA No. 18 DE 30                  DESDE: 68.00 m                  HASTA: 73.00 m</p>	
<p>CAJA No. 19 DE 30                  DESDE: 73.00 m                  HASTA: 78.00 m</p>	
<p>CAJA No. 20 DE 30                  DESDE: 78.00 m                  HASTA: 83.00 m</p>	

PROYECTO HIDROELÉCTRICO QUIJOS  
 HIGGECO - ASTEC-INTEGRAL - CELEC E.P.



SONDEO: XPP-2

UBICACIÓN: TUNEL PRINCIPAL

<p>CAJA No. 21 DE 30                  DESDE: 83.00 m                  HASTA: 88.00 m</p>	
<p>CAJA No. 22 DE 30                  DESDE: 88.00 m                  HASTA: 93.00 m</p>	
<p>CAJA No. 23 DE 30                  DESDE: 93.00 m                  HASTA: 98.00 m</p>	
<p>CAJA No. 24 DE 30                  DESDE: 98.00 m                  HASTA: 103.00 m</p>	

PROYECTO HIDROELÉCTRICO QUIJOS  
 HIGGECO - ASTEC-INTEGRAL - CELEC E.P.



SONDEO: XPP-2

UBICACION: TUNEL PRINCIPAL

CAJA No. 25 DE 30  
 DESDE: 103.00 m  
 HASTA: 108.00 m



CAJA No. 26 DE 30  
 DESDE: 108.00 m  
 HASTA: 113.00 m



CAJA No. 27 DE 30  
 DESDE: 113.00 m  
 HASTA: 118.00 m



CAJA No. 28 DE 30  
 DESDE: 118.00 m  
 HASTA: 123.00 m



PROYECTO HIDROELÉCTRICO QUIJOS  
HIGGECO - ASTEC-INTEGRAL - CELEC E.P.



SONDEO: **XPP-2**

UBICACION: **TUNEL PRINCIPAL**

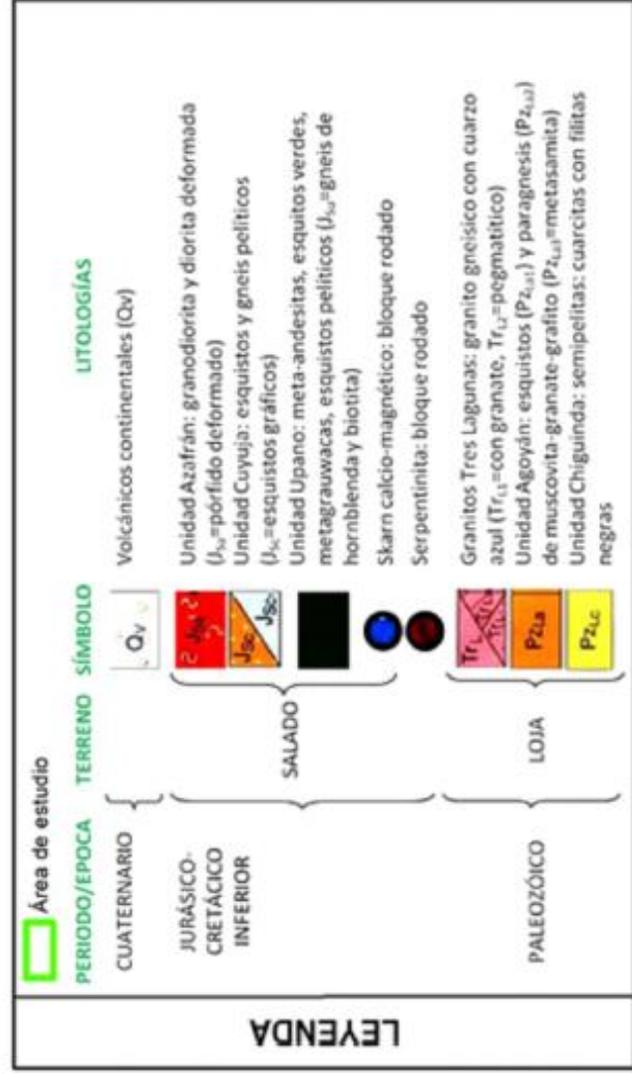
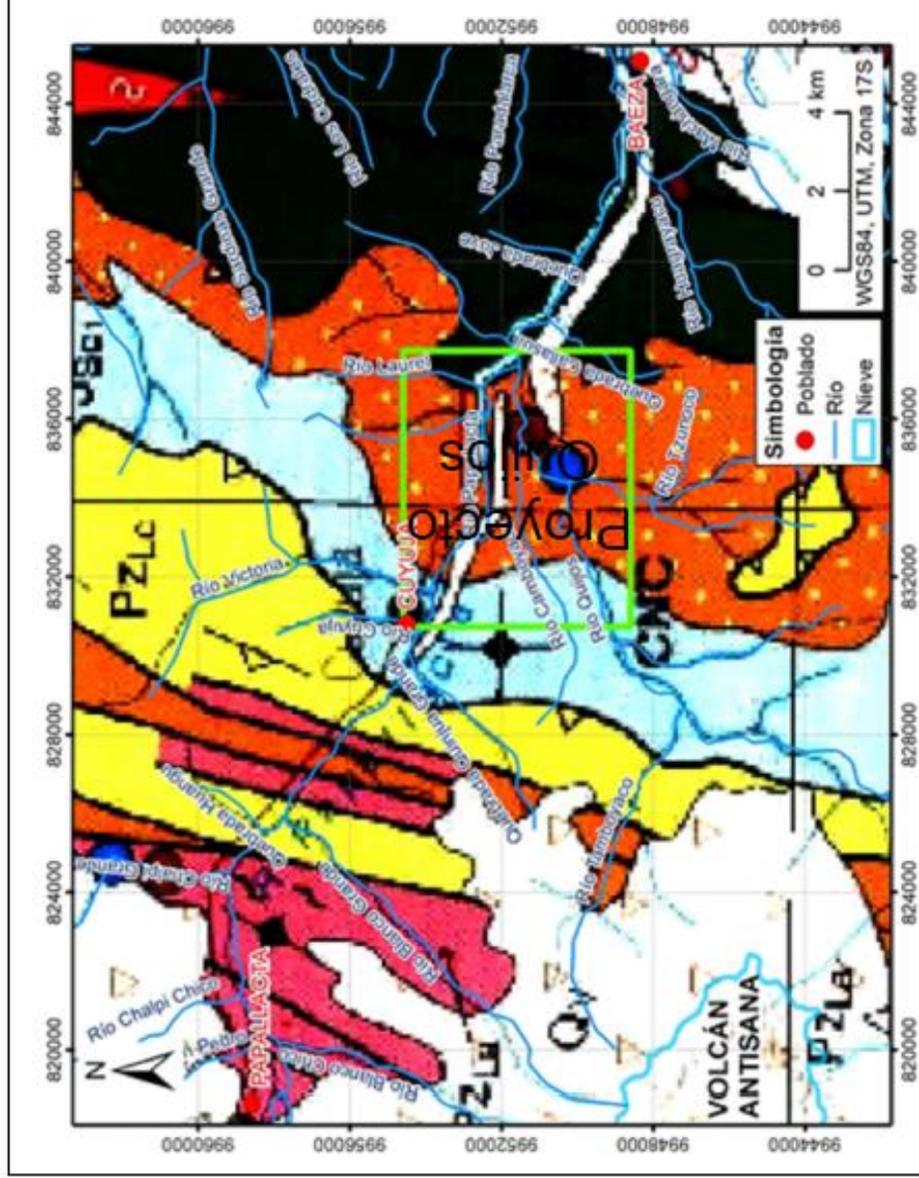
CAJA No. 29 DE 30  
DESDE: 123.00 m  
HASTA: 128.00 m



CAJA No. 30 DE 30  
DESDE: 128.00 m  
HASTA: 130.65 m



**ANEXO C: Mapa geológico regional**

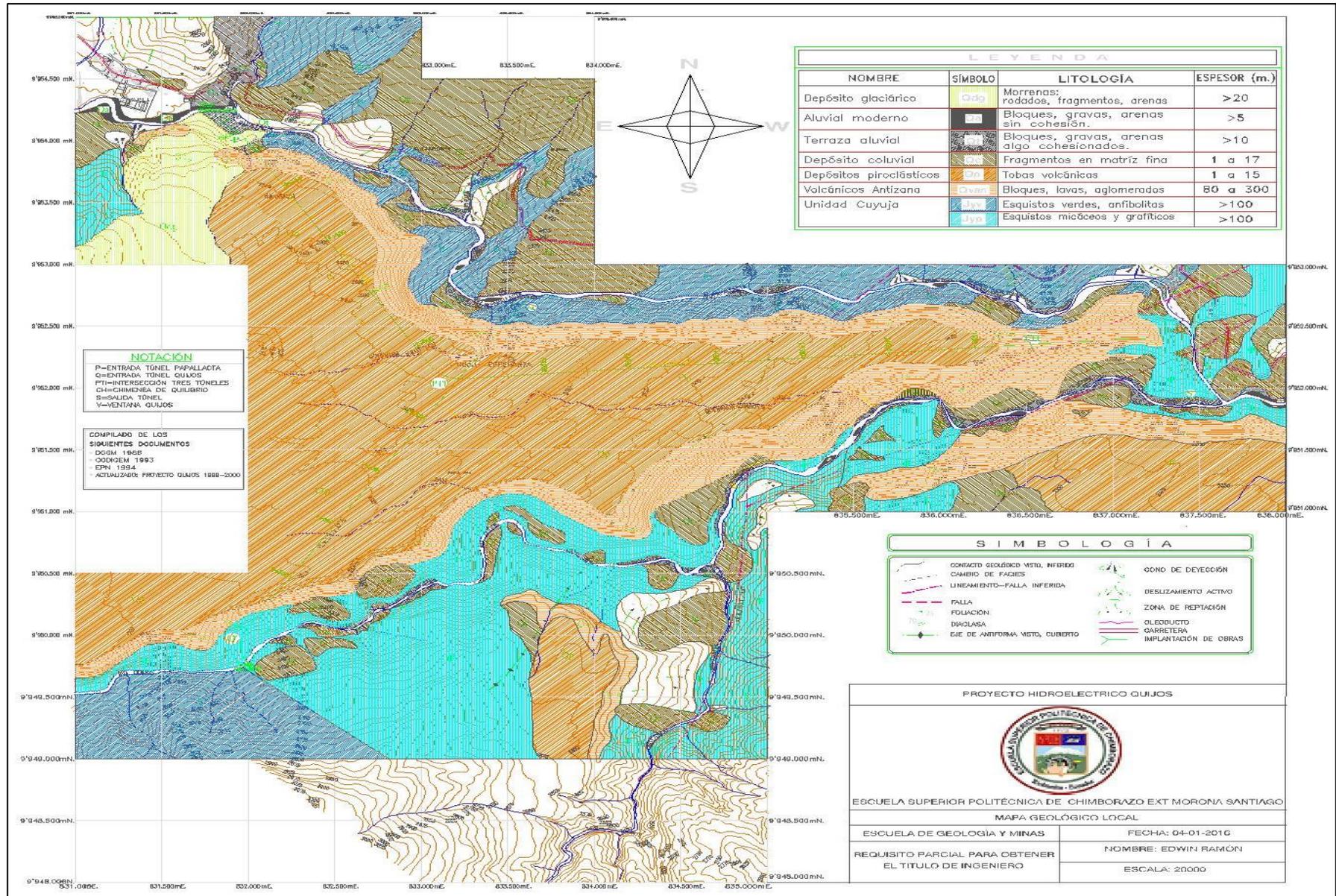


INSTITUTO GEOLOGICO DEL PERU



INSTITUTO GEOLOGICO DEL PERU  
 INSTITUCIÓN PÚBLICA DE INVESTIGACIÓN Y SERVICIO  
 AV. LUIS ALBERTO HURTADO 1001  
 BOULEVARD DE INDEPENDENCIA Y PERU  
 LIMA 1001, PERU  
 TELÉFONO: 011 476 0100  
 FAX: 011 476 0101  
 E-MAIL: IIG@IGP.GOV.PE

**ANEXO D:** Mapa geológico local



**LEYENDA**

NOMBRE	SÍMBOLO	LITOLOGÍA	ESPESOR (m.)
Depósito glaciárico		Morrenas: rodados, fragmentos, arenas	>20
Aluvial moderno		Bloques, gravas, arenas sin cohesión.	>5
Terraza aluvial		Bloques, gravas, arenas algo cohesionados.	>10
Depósito coluvial		Fragmentos en matriz fina	1 a 17
Depósitos piroclásticos		Tobas volcánicas	1 a 15
Volcánicos Antizana		Bloques, lavas, aglomerados	80 a 300
Unidad Cuyuja		Esquistos verdes, anfibolitas	>100
		Esquistos micáceos y grafiticos	>100

**NOTACIÓN**

P=ENTRADA TÚNEL PAPALLACTA  
 Q=ENTRADA TÚNEL QUIJOS  
 PTT=INTERSECCIÓN TRES TÚNELES  
 CH=CHIMENEA DE EQUILIBRIO  
 B=SAIDA TÚNEL  
 Y=VENTANA QUIJOS

COMPILADO DE LOS SIGUIENTES DOCUMENTOS  
 DGGM 1988  
 ODDIEM 1993  
 EPN 1994  
 ACTUALIZADO: PROYECTO QIJOS 1888-2000

**SIMBOLOGÍA**

	CONTACTO GEOLÓGICO VISTO, INFERIDO		CONO DE DEYECCIÓN
	CAMBIO DE PAGINAS		DESPLAZAMIENTO ACTIVO
	LINEAMIENTO-FALLA INFERIDA		ZONA DE REPTACIÓN
	FALLA		OLEODUCTO
	FOLIACIÓN		CARRETERA
	DIÁGENESIS		IMPLANTACION DE OBRAS
	EJE DE ANTIFORMA VISTO, CUBIERTO		

PROYECTO HIDROELECTRICO QUIJOS

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO EXT MORONA SANTIAGO

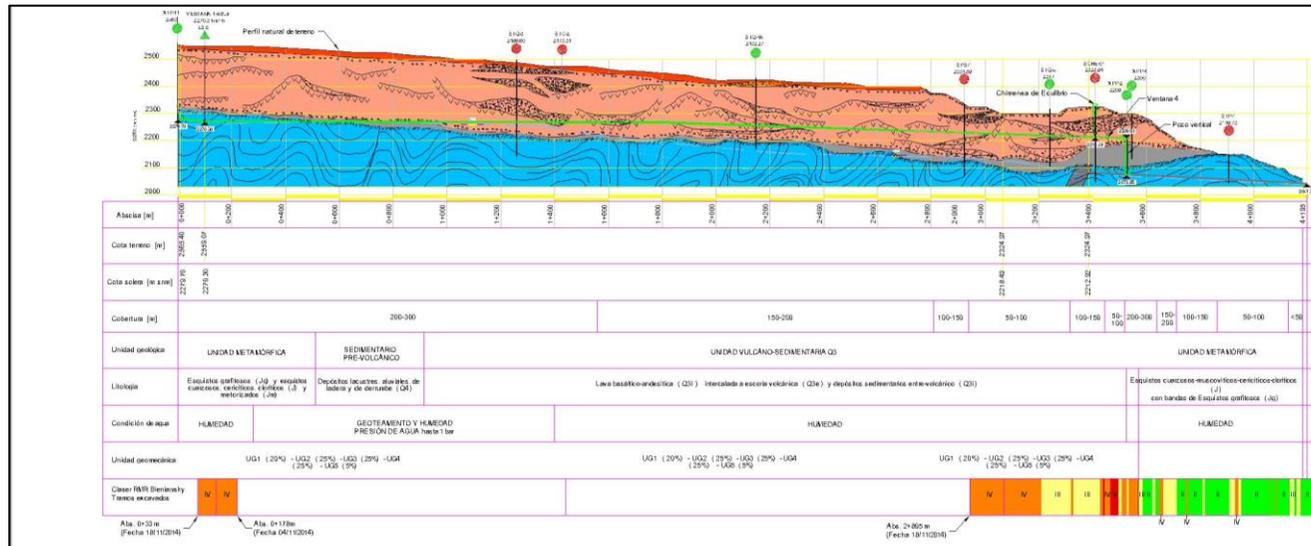
MAPA GEOLÓGICO LOCAL

ESCUELA DE GEOLOGÍA Y MINAS	FECHA: 04-01-2016
REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL TÍTULO DE INGENIERO	NOMBRE: EDWIN RAMÓN
	ESCALA: 20000

**ANEXO E: Mapa topográfico**



**ANEXO F: Perfil geológico del túnel Principal**



Atacaja [m]	0+000	0+400	0+800	1+200	1+600	2+000	2+400	2+800	3+200	3+600	4+000	4+100
Cota terreno [m]	2525.00	2525.00							2524.00	2525.00		
Cota sobre [m s.n.m]	2270.30								2271.40	2272.50		
Cobertura [m]		250-300				150-200			100-150	50-100	50-100	50-100
Unidad geológica	UNIDAD METAMÓRFICA		SEDIMENTARIO PRE-VOLCÁNICO		UNIDAD VOLCÁNICO-SEDIMENTARIA Q3						UNIDAD METAMÓRFICA	
Litología	Esquistos cuarzosos (Jg) y esquistos cuarzosos sericiticos, cloríticos (Jc y Jm)		Depósitos lacustres, aluviales de lechosa y de derrumbe (Q4)		Lava basáltico-andesítica (Q3i) intercalada a escoria volcánica (Q3e) y depósitos sedimentarios entre-volcánicos (Q3o)						Esquistos cuarzosos microcíticos-sericiticos-cloríticos con bandas de Esquistos cuarzosos (Jg)	
Condición de agua	HUMEDAD		GEOTRANSFORMADO Y HUMEDAD PREBIONDE AGUA NEAR LAS			HUMEDAD						HUMEDAD
Unidad geotécnica	UG1 (20%) - UG2 (25%) - UG3 (25%) - UG4 (25%) - UG5 (10%)				UG1 (20%) - UG2 (25%) - UG3 (25%) - UG4 (25%) - UG5 (10%)						UG1 (20%) - UG2 (25%) - UG3 (25%) - UG4 (25%) - UG5 (10%)	
Clase RMR Bienampliamente Escavada	IV										V	
Ala: 0-33 m (Fecha 18/11/2014)			Ala: 0-170m (Fecha 04/11/2014)								Ala: 2+805 m (Fecha 18/11/2014)	

**Legenda:**

- Q3i: Lavas basáltico-andesítica
- Q3e: Escoria volcánica
- Q3o: Depósitos sedimentarios entre-volcánicos
- Q4: Depósitos sedimentarios pre-volcánicos (aluvial, coluvial, lacustre, derrumbe)

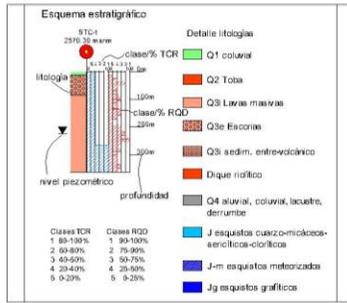
**Unidad de Cuyoja**

- Jc: Esquistos cuarzosos, microcíticos, cloríticos, sericiticos
- Jg: Esquistos grafíticos

**Zona de Falla - Shear zone**

**Investigaciones**

- STC-1: 2570.30m snm (Sondeo (campañas anteriores))
- XTP-9: 2563m snm (Sondeo (campaña 2014))
- LS 2: Línea sísmica de reflexión transversal al túnel (campaña 2014)



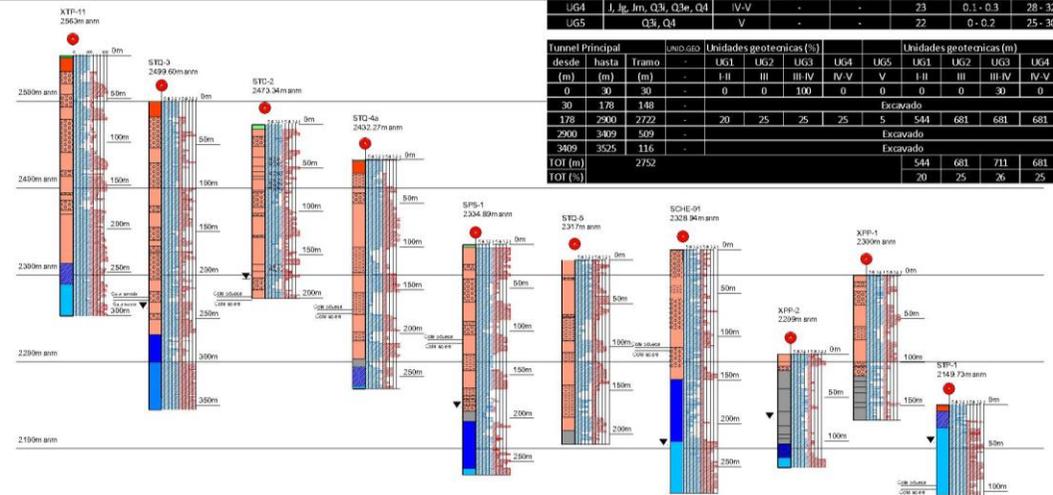
Escala: 1: 8000

**Parámetros geotécnicos**

UG	UNIDAD GEOLOGICA	CLASE (-)	RMR	$\alpha$ [°]	$\gamma$ [kN/m <sup>3</sup> ]	$c$ [MPa]	$\phi$ [°]	$E$ [GPa]	$k$ [m/s]
UG1	Q3i, Jg, Jc	I-II	70	50	27	1.5 - 2.0	45 - 48	12.6	1E-7 - 1E-8
UG2	Q3i, Q3e, Jg, Jc	III	55	50	26	1.0 - 1.3	40 - 45	6.1	1E-6 - 1E-7
UG3	Q3i, Q3e, Jg, Jc	III-IV	40	40	26	0.5 - 1.0	32 - 37	2.2	1E-5 - 1E-6
UG4	Jg, Jm, Q3i, Q3e, Q4	IV-V	-	-	23	0.1 - 0.3	28 - 32	1	1E-4 - 1E-7
UG5	Q3i, Q4	V	-	-	22	0 - 0.2	25 - 30	0.5	5E-4 - 1E-7

**Túnel Principal desde hasta Tramo**

UNIDAD	UNIDADES GEOTÉCNICAS (%)	UNIDADES GEOTÉCNICAS (m)											
UG1	UG2	UG3	UG4	UG5	UG1	UG2	UG3	UG4	UG5				
0	30	30	-	0	0	100	0	0	0	30	0	0	
30	178	148	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
178	2900	2722	-	20	25	25	25	5	544	681	681	136	
2900	3409	509	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
3409	3525	116	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
TOI (m)		2752							544	681	711	681	136
TOI (%)									20	25	26	25	5



Escala: 1: 2500

**Segundo emiso**

**Emisión inicial**

**Proyecto Hidroeléctrico Quijos**

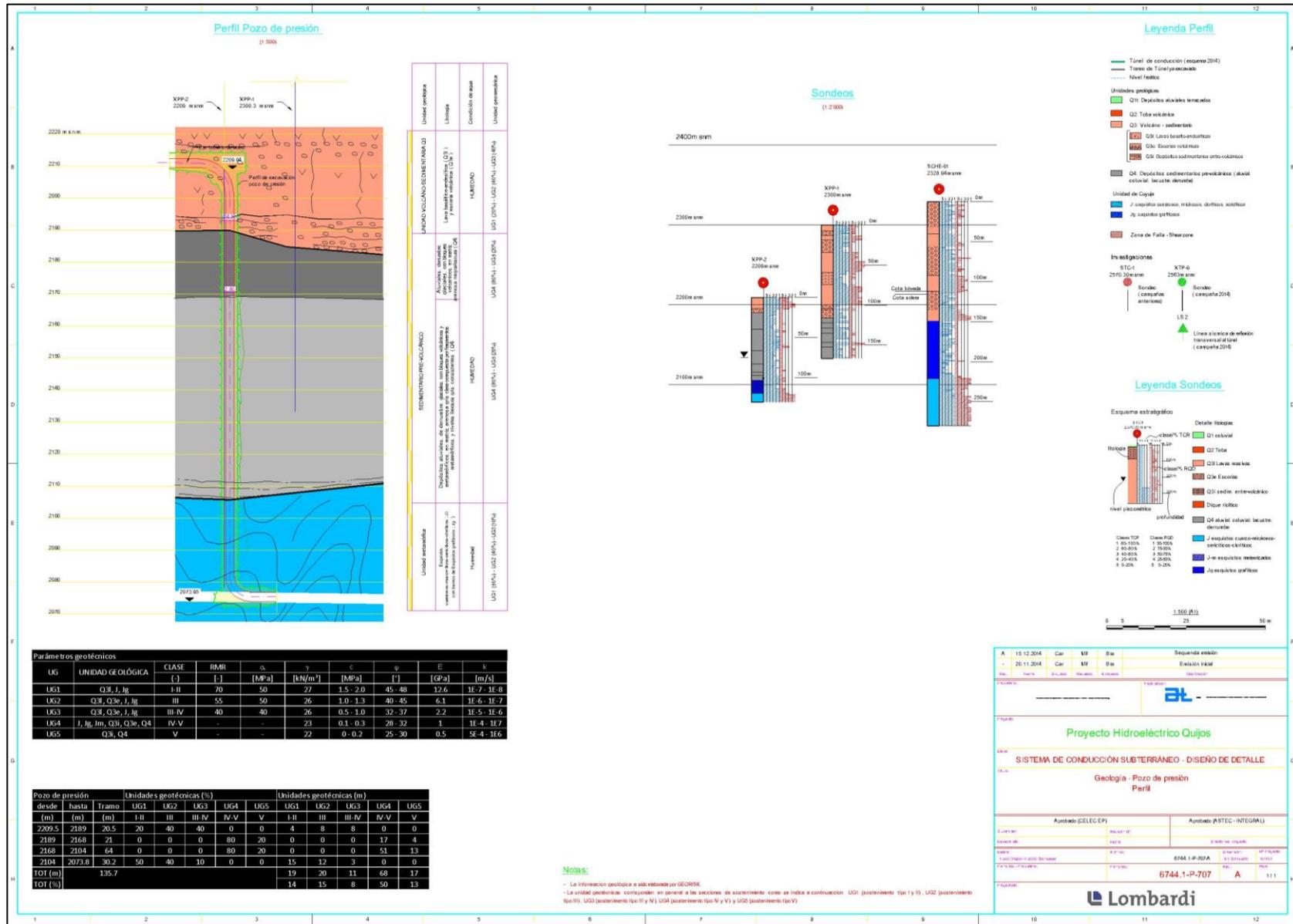
**SISTEMA DE CONDUCCIÓN SUBTERRÁNEO - DISEÑO DE DETALLE**

**Gebgia - Túnel Principal Perfil**

Aprobado (CELED EP) / Aprobado (ASISTEC - INTEGRAL)

**Lombardi**

**ANEXO G: Perfil del pozo de presión**



**ANEXO H:** Interpretación de mapeo geotécnico de campo a partir del sondeo XPP-02

