

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL**



**APLICACION DE LA TÉCNICA DE INYECCIONES EN EL TÚNEL
HIDRAULICO DE CONDUCCIÓN DEL PROYECTO CHEVES**

INFORME DE SUFICIENCIA

Para optar el Título Profesional de:

INGENIERO CIVIL

LUIS KAROL VILLARROEL LOPEZ,

Lima- Perú

2014

ÍNDICE

RESUMEN.....	4
LISTA DE FIGURAS	5
LISTA DE CUADROS	6
LISTA DE SÍMBOLOS	7
LISTA DE SIGLAS	8
INTRODUCCIÓN	9
CAPITULO I: GENERALIDADES.....	10
1.1 DESCRIPCION DEL PROYECTO.....	10
1.1.1 Características del Túnel de Conducción.....	11
1.2 GEOLOGÍA Y GEOTECNIA DEL MACIZO ROCOSO.....	13
1.2.1 Litología.....	13
1.2.2 Terminología Litológica.....	14
1.2.3 Caracterización del Macizo Rocoso.....	15
1.3 CLASIFICACIONES GEOMECÁNICAS APLICADAS EN TÚNELES.....	16
1.3.1 Clasificación de Bieniawski (RMR).....	16
1.3.2 Índice Q.....	16
1.4 INVESTIGACIONES REALIZADAS PARA LA CONSTRUCCIÓN DEL TÚNEL DE CONDUCCIÓN.....	17
1.5 CONDICIONES GEOLÓGICO REGIONALES.....	17
1.5.1 Geomorfología.....	17
1.5.2 Estratigrafía.....	18
1.5.3 Depósitos Cuaternarios.....	19
1.5.4 Rasgos Geo-estructurales.....	20
1.5.5 Condiciones Sismo-Tectónicas.....	21
1.5.6 Geodinámica Externa.....	22
1.5.7 Condiciones Geológicas del Túnel de Conducción.....	24

CAPITULO II: HIDROGEOLOGÍA.....	26
2.1 EL AGUA SUBTERRÁNEA.....	26
2.2 HIDROGEOLOGÍA REGIONAL.....	26
2.2.1 Hidrología.....	26
2.2.2 Influencia de las Condiciones Hidrogeológicas.....	27
2.3 CONDICIONES HIDROGEOLÓGICAS DEL TÚNEL DE CONDUCCIÓN....	28
CAPITULO III: INYECCIONES EN MACIZOS ROCOSOS PARA LA IMPERMEABILIZACIÓN DE TÚNELES.....	29
3.1 MARCO TEÓRICO.....	29
3.1.1 Antecedentes.....	29
3.1.2 Definición.....	30
3.2 PARÁMETROS PRINCIPALES.....	30
3.3 TIPOS DE LECHADAS.....	32
3.3.1 Lechada a Base de Cemento.....	32
3.3.2 Consideraciones de Diseño de Lechadas de Cemento.....	34
3.4 TÉCNICA DE INYECCIÓN PARA LA IMPERMEABILIZACIÓN.....	35
3.4.1 Perforación de Sondeos de Reconocimiento.....	35
3.4.2 Perforación de los Sondeos de Inyección.....	35
3.4.3 Equipo Básico para las Inyecciones de Cemento.....	36
3.4.4 Procedimiento de Inyección.....	37
3.4.5 Sondeos de Control.....	37
CAPITULO IV: APLICACIÓN DE LA TÉCNICA DE INYECCIONES EN EL TÚNEL DE CONDUCCIÓN.....	38
4.1 DESCRIPCIÓN DEL TRAMO 0+916.0 A 0+954.0.....	38
4.1.1 Investigación Geológica y Clasificación del Macizo Rocosos.....	38
4.1.2 Investigación Hidrológica.....	40
4.2 APLICACIÓN DE LA TÉCNICA DE INYECCIONES.....	41

4.2.1 Diseños de Mezclas Aplicados en el Proyecto Cheves.....	41
4.3 PROCEDIMIENTO DE INYECCIÓN E INSTRUCTIVO DE SEGURIDAD APLICADO EN EL PROYECTO CCH.....	44
4.3.1 Perforación Exploratoria en Túneles.....	44
4.3.2 Perforación de Taladros para Inyección.....	46
4.3.3 Aplicación de Inyección.....	46
4.3.4 Instructivo de Seguridad.....	47
4.4 INYECCIONES EN EL TÚNEL TRAMO 0+916.0 A 0+954.0.....	50
4.4.1 Dificultades Durante la Inyección.....	60
4.4.2 Efectos de la Inyección.....	61
CAPITULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	62
5.1 CONCLUSIONES.....	62
5.2 RECOMENDACIONES.....	65
BIBLIOGRAFIA	
ANEXOS	
ANEXO A: SONDAJE DIAMANTINO DDH-CHCH-TA-PE	67
ANEXO B: CONDICIONES GEOMECÁNICAS.....	72
ANEXO C: REPORTES DE GEOLOGÍA.....	73
ANEXO D: ANALISIS QUÍMICO DE MUESTRAS DE AGUA.....	87
ANEXO E: PLANOS.....	91

RESUMEN

La presencia y el comportamiento de las aguas subterráneas, es un factor de difícil predicción y sin embargo, puede alcanzar mayor incidencia en proyectos de túneles, debido a que incide negativamente en la fase de construcción y durante la vida de la obra; dentro de las técnicas de impermeabilización se presentan las inyecciones el cual es el tema central del presente informe de suficiencia. El desarrollo del informe en mención consta de cinco capítulos que a continuación se describen:

El primer capítulo muestra las generalidades del proyecto hidráulico Cheves, detalla las características del túnel de conducción, también se describen conceptos y la caracterización de las unidades geotécnicas y geológicas de los macizos rocosos que atraviesa el túnel.

El segundo capítulo describe los conceptos básicos de hidrogeología, tipos de acuíferos, parámetros hidrogeológicos y la ley de Darcy, también se describe las condiciones de la hidrogeología regional.

El tercer capítulo muestra la técnica de inyecciones para la impermeabilización de túneles, se detalla la teoría y parámetros principales, los tipos de lechadas y sus consideraciones de diseño.

En el cuarto capítulo se detallan los procesos de aplicación de la técnica de inyecciones, se describen las características geológicas y geotécnicas del tramo de estudio, así como también las condiciones de la presencia del agua subterránea para finalmente desarrollar la aplicación de la técnica utilizando los procedimientos aplicados en el túnel de conducción.

En el quinto capítulo se presentan las conclusiones y recomendaciones obtenidas del desarrollo del informe de suficiencia.

LISTA DE FIGURAS

Figura N° 1.1.-	Sección Transversal de un Tramo del Túnel de Conducción..	11
Figura N° 3.1.-	Bomba de Inyección-Atlas Copco, UNIGROUT E22H.....	36
Figura N° 3.2.-	Obturadores Hidraulicos y Mecanicos (Packers)	37
Figura N° 4.1.-	Esquema de Paraguas de Inyección	46
Figura N° 4.2.-	Esquema de Bombeo de Agua	50
Figura N° 4.3.-	Esquema de Sondeos, Progresiva 0+916.0	51
Figura N° 4.4.-	Shotcrete con Fisuras. Fotografía de Hastial Izquierdo	52
Figura N° 4.5.-	Esquema de Sondaje en la Progresiva 0+921.70	53
Figura N° 4.6.-	Esquema de Taladros de Producción en la Progresiva 0+921.70.....	54
Figura N° 4.7.-	Esquema de Sondaje en la Progresiva 0+916.0 Hastial Derecho de Túnel.....	54
Figura N° 4.8.-	Grafica de Presión de Inyeccion vs Volumen de Lechada PK; 0+916.0, Zona Horaria 08:00	57
Figura N° 4.9.-	Grafica de Presión de Inyeccion vs Volumen de Lechada PK; 0+916.0, Zona Horaria 04:00	58
Figura N° 4.10.-	Taladro Zona Horaria 08:00, al Termino de las Inyecciones ..	58
Figura N° 4.11.-	Taladro Zona Horaria 04:00, despues de las Inyecciones	59
Figura N° 4.12.-	Grafica de Presión de Inyeccion vs Volumen de Lechada PK; 0+916.0, Zona Horaria 09:00	59
Figura N° 4.13.-	Taladro Zona Horaria 09:00, despues de las Inyecciones	60

LISTA DE CUADROS

Cuadro N° 1.1.- Características del Túnel de Conducción.....	11
Cuadro N° 3.1.- Equipo Básico para Inyeccion en el Proyecto Cheves.....	36
Cuadro N° 4.1.- Clasificación Geomecánica y Caracterización de Roca, frontón 0+918.60	39
Cuadro N° 4.2.- Clasificación Geomecánica y Caracterización de Roca, frontón 0+921.70	39
Cuadro N° 4.3.- Analisis Químico de las Muestras de Agua Subterránea.....	40
Cuadro N° 4.4.- Analisis Químico de las Muestras de Agua Subterránea, 0+937.0.....	41
Cuadro N° 4.5.- Diseño de Mezclas para Condiciones Normales.....	43
Cuadro N° 4.6.- Diseño de Mezclas, Dosificación por Tanda.....	43
Cuadro N° 4.7.- Diseño de Mezclas Bajo Condiciones de 48°C.....	44
Cuadro N° 4.8.- Dosificación por Tanda, Bajo Condiciones de 48°.....	44
Cuadro N° 4.9.- Resultado de Sondaje en Progresiva 0+916.0.....	51
Cuadro N° 4.10.- Datos Obtenidos de la Inyección 0+916.0.....	52
Cuadro N° 4.11.- Datos Obtenidos de la Reinyección, 0+916.0.....	52
Cuadro N° 4.12.- Datos Obtenidos del Sondaje , 0+921.70.....	53
Cuadro N° 4.13.-Datos Obtenidos del Sondaje, 0+916.0 Hastial Derecho.....	55
Cuadro N° 4.14.- Resumen de Inyección y Sondeos en las Progresivas 0+916.0 y 0+921.70.....	56
Cuadro N° 4.15.- Avances de Excavación 0+921.70 - 0+931.30.....	55
Cuadro N° 4.16.- Avances de Excavacion 0+934.80 - 0+954.20.....	56
Cuadro N° 4.17.- Resumen de Inyecciones en la Progresiva 0+954.0.....	56
Cuadro N° 4.18.- Resumen de Inyecciones del Sondeo Zona Horaria 08:000+916.0.....	57
Cuadro N° 4.19.- Resumen de Inyecciones del Sondeo Zona Horaria 04:000+916.0.....	57
Cuadro N° 4.20.- Resumen de Inyecciones del Sondeo Zona Horaria 09:000+916.0.....	59

LISTA DE SÍMBOLOS

°C	Grados Centígrados.
cm	Centímetros
km	Kilómetros.
m	Metro lineal.
m ²	Metros cuadrados.
mm/día	Milímetros por día.
MW	Megavatio
Gwh	Gigavatio hora
Kv	kilovoltio
mm	Milímetros
m ³	Metros cúbicos
min.	Minutos
Ma	Millón de años
PK	Punto kilométrico
mg/l	miligramos por litro
L/min	Litro por minuto
a/c	Relación agua cemento
Kpa	Kilo pascal
Kw	Kilo vatios

LISTA DE SIGLAS

RMR	Rock Mass Rating.
RQD	Rock Quality Designation (Índice de calidad de la roca).
Jv	Representa el número de discontinuidades por metro lineal.
S	Espaciado de las discontinuidades en metros para el sistema de discontinuidades actual.
Jn	Número de familias de discontinuidades.
Jr	Rugosidad de las discontinuidades.
Ja	Meteorización de las discontinuidades.
Jw	Coefficiente reductor que tiene en cuenta la presencia de agua.
SRF	Factor de reducción dependiente de las tensiones. "Stress Reduction Factor".
m.s.n.m	Metros sobre el nivel del mar

INTRODUCCIÓN

En el ámbito de la Ingeniería Civil en nuestro país se está experimentando un auge en la construcción de túneles, siendo los hidráulicos los que presentan un crecimiento debido a la necesidad de energía, al desarrollo de la industria y al saneamiento de las ciudades. En la construcción de túneles el factor más importante es el control del agua subterránea, debido a su difícil predicción y grado de incidencia negativa en la fase de construcción y durante la vida de la obra. Dentro de las diversas técnicas de impermeabilización el presente informe desarrolla la técnica de inyecciones de mezclas cementantes dentro del macizo rocoso a través de sondeos.

Las inyecciones son aplicadas para compactar e impermeabilizar la parte sólida de las rocas fracturadas, el material de inyección se mantiene en movimiento con la presión, penetrará en las diaclasas y discontinuidades del macizo rocoso, reemplazando así el agua con la lechada y bloqueando de este modo los canales de filtración de agua.

Para la aplicación de la técnica de inyecciones en el túnel de conducción se recopiló la información disponible, como el mapeo estructural geológico del tramo en estudio, análisis químico del agua subterránea, tipo de soporte. Los resultados obtenidos son analizados en conjunto para dar paso al diseño de mezclas aplicados en el túnel.

Para analizar la aplicación de las inyecciones se analizó el tramo de 0+916.0 A 0+954.0 el cual presentó problemas de agua subterránea, esto se detalla en el capítulo IV del presente informe. El control del agua subterránea en la construcción de túneles es de suma importancia, las técnicas y materiales han evolucionado buscando mayor eficacia, idoneidad y economía por lo tanto para futuros estudios o proyectos de este tipo; se recomienda que otros profesionales incrementen y/o modifiquen lo realizado.

CAPÍTULO I: GENERALIDADES

1.1 DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO

El proyecto Cheves consiste en la construcción de una central hidroeléctrica de 168 MW de capacidad instalada, con dos turbinas Pelton que utilizará una caída bruta de agua de 599 m . El salto bruto es la diferencia entre el nivel de funcionamiento de la cámara de carga en la cota 2.158,0 msnm y el centro de la turbina en la cota 1.559,0 msnm. La producción media anual será de 838 GWh y la energía será conducida a través de una nueva línea de transmisión, que será construida por el proyecto, desde el Patio de Llaves de Cheves hasta la subestación de Huacho a 200 Kv. El proyecto se ubica en el departamento de Lima entre las provincia de Huaura y Oyón, en el río Huaura , entre las localidades de Sayán y Churín . La central hidroeléctrica Cheves desviaré las aguas de los ríos Huaura y Checra, 1-2 km aguas arriba de su confluencia a una altitud de alrededor de 2 170 msnm y la regresara al río Huaura a través del túnel de descarga, a 3.5 Km aguas abajo del Túnel de Acceso a la Casa de Máquinas.

Las aguas del río Huaura serán captadas a través de la presa toma Huaura la cual será conducida mediante el túnel de transferencia de 2530 m de longitud hacia la presa Checra. Las obras de captación de la planta se encuentran en el río Checra , que comprende una presa de gravedad de concreto, un desarenador seguido por una cámara de carga y toma con una superficie de unos 1.250 m². La cámara de carga está conectado a la casa de máquinas subterránea por un túnel de Conducción de 9883 m de largo. Una compuerta de acero de 2,4 m de diámetro conecta a la bifurcación que conduce a las turbinas Pelton. El complejo consta de potencia central eléctrica subterránea separada y caverna de transformador. El acceso a las cavernas es a través del túnel de Acceso de 960 m de largo. Unos 8 km aguas abajo de la salida del túnel de descarga , está prevista la construcción de un reservorio de compensación de aproximadamente 1.000 metros de largo y 250 m de ancho, con una presa de 11,5 m de altura, de concreto y el terraplén equipado con tres compuertas radiales. Las condiciones climáticas de la zona del proyecto son típicos de los valles costeros de los Andes , con escasas precipitaciones (menos de 300 mm) se concentran en la temporada de lluvias más precipitaciones se registran en la zona de Churín que en la zona de Sayán

1.1.1 Características del Túnel de Conducción

El túnel de conducción tiene una longitud de 9883m entre el portal del túnel el cual tiene las siguiente coordenadas cartesianas N 8800348.773; E 294 004.859 y una elevación de 2143 msnm y la caverna de la casa de máquinas la cual tiene la siguiente coordenada cartesiana N 8796095.079; E 285292.068 y una elevación de 1564.30 msnm, el túnel de conducción tiene cambios en sus características en cuanto a tamaño de la sección transversal y la inclinación durante su curso, como se muestra a continuación en el cuadro N°1, los detalles se puede apreciar en el plano C301 revisión C, anexo E.

Cuadro N°1.1- Características del Túnel de Conducción

Inicio [m]	Fin [m]	Longitud [m]	Sección transversal [m ²]	Pendiente [%]
0+000.0	5+667.8	5.668	22,6	-0,9

Fuente: Elaboración propia.

El presente informe se desarrollara en los tramos del túnel de conducción entre la progresiva 0+000.0 al 5+667.8 el cual tiene la siguiente distribución de frentes de trabajo paralelos, el grupo A en dirección de Checras al Adit-1, con una extensión aproximada de 3000 metros de excavación y el grupo B del Adit-1 a Checras (H018 a H01) con 2500 metros aproximados de excavación. En los tramos en la cual se desarrolla el presente informe el túnel de conducción presenta la siguiente sección transversal.

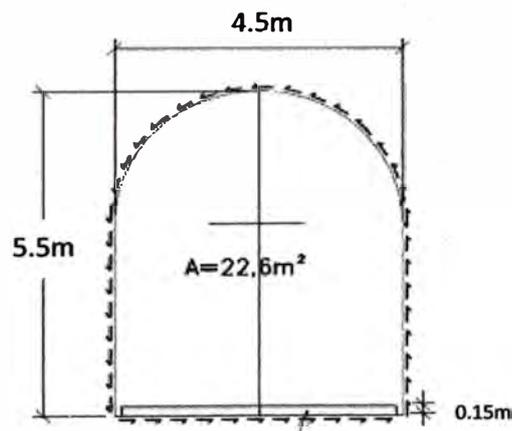


Figura N°1.- Sección Transversal de un Tramo del Túnel de Conducción.

Para la construcción del túnel de conducción, se tiene como método de excavación la perforación y voladura como práctica habitual. Sin embargo, en condiciones de roca de perforación y voladura pobres será

reemplazado por una excavación mecánica la carga y acarreo de escombros serán ejecutados por el equipo de carga adecuado directamente en camiones de volteo, que llevarán los escombros ya sea a las áreas provisionales en el portal, o directamente a la zona de vertido final luego de terminar con la evacuación de material de voladura el geólogo decidirá el soporte inicial, la evaluación de calidad de roca estará a cargo del ingeniero geólogo de turno el cual tendrá base en un sistema de clasificación aprobado y se instalará el soporte de roca correspondiente, la secuencia prevista de soporte de roca es shotcrete, pernos de roca, cimbras y marchahuanti; los tipos y la cantidad de apoyo de roca dependerá de la condición geológica encontrada; la maquinaria pesada con que se cuenta es: Jumbo Tamrock DT 720-C, Maquina de carga ITC 312 H1, Robot Shotcrete Semmco Alfa 2, grua telescópica Manitou MT 1030, camiones de carga DUX NT 22, Bombas de hormigón Putzmeister BSA 1405 E.

En cuanto al proceso de evacuación de aguas subterráneas aguas abajo, la gravedad natural dirigirá el agua siempre hacia la cara de excavación. Por lo tanto, se prevé establecer un sistema de pozos de bombeo en cascada; las bombas sumergibles tendrán una capacidad mínima de $1\text{m}^3 / \text{min}$ se desplazará el agua desde el frente de excavación hacia los pozos, hasta que el agua llegue al portal del túnel. En caso de que el agua presente supere la capacidad de las bombas se tiene previsto aumentar la capacidad de bombeo mediante la implementación de una segunda línea de bombas ($1\text{m}^3 / \text{min}$), cuando sea necesario. Toda el agua del túnel de conducción que se origina por la actividad de trabajo (es decir, perforación, inyección, obras de hormigón, etc.) y debido a la filtración natural se recogerá en estos pozos de bombeo y se bombea a través de la línea principal hacia la poza de sedimentación que cuenta con un separador de aceite el agua fluirá por gravedad hacia la cuenca de sedimentación natural, el río Checras. La cuenca de sedimentación puede consistir en un recipiente preparado para este fin o así de un estanque de concreto. Una plataforma de acceso se construirá alrededor de la laguna con el fin de limpiarlo de vez en cuando con una excavadora y / o cargador de ruedas, al final de la cuenca de sedimentación, el agua se bombea o por flujo de gravedad se dirigirá hacia el río.

1.2 GEOLOGÍA Y GEOTECNIA DEL MACIZO ROCOSO

En los proyectos de excavación de túneles los estudios geológicos son absolutamente necesarios para poder proyectar y construir una obra subterránea, los estudios realizados nos proporcionan las características geológico - geotécnicas de las formaciones geológicas, con el fin de disponer de datos básicos para el diseño, selección de métodos de excavación y sostenimiento; dentro de este capítulo, se realizará una revisión de los conceptos básicos de geología, que aparecen con frecuencia en la construcción de túneles.

1.2.1 Litología

En la construcción de túneles se atraviesan prácticamente todos los tipos de roca que la geología habitualmente describe; en la construcción del túnel de conducción se encontraron estratos de areniscas cuarzosas, lutitas carbonosas, brechas de andesitas en los primeros 2500 metros, paralelamente a esto la mecánica de rocas complementa los calificativos a sus propiedades, de esta manera se contempla tres grandes grupos de rocas clasificadas por su origen en: rocas ígneas, rocas sedimentarias y rocas metamórficas.

a) Rocas ígneas

Las rocas ígneas son las formadas por solidificación de una masa fundida a profundidad denominada magma, mezcla de materiales pétreos y gases. Si esta se enfría en la superficie terrestre se la clasifica como roca ígnea extrusiva o volcánica y cuando se enfría por debajo de la superficie terrestre se forma una roca ígnea intrusiva o plutónica.

b) Roca sedimentarias

Las rocas sedimentarias se forman por el mecanismo de depósitos de los sedimentos que determina finalmente la textura y estructura final las rocas sedimentarias se clasifican en: rocas sedimentarias detríticas, formadas por restos de rocas preexistentes depositados después de una fase de transporte, roca sedimentaria químicas formadas principalmente por sales y coloides y rocas sedimentarias organógenas.

c) Rocas metamórficas

Las rocas metamórficas son originadas por importantes transformaciones de sus componentes mineralógicos de otras rocas preexistentes, como consecuencia de

los cambios de presión y temperatura, de acuerdo con la posición geológica se tienen tres tipos básicos de metamorfismo: metamorfismo de contacto, ocurre cuando en la cercanía de la roca ígnea intrusiva se presentan efectos térmicos; dina metamorfismo cuando las rocas superficiales de la litosfera son sometidas a fuertes presiones, estas producen alteraciones en su estructura, metamorfismo regional como consecuencia de cinturones orogénicos activos.

1.2.2 Terminología Litológica

En los proyectos de construcción de túneles se utilizan frecuentes terminologías, por este motivo se describirá las siguientes definiciones asociadas al presente informe de suficiencia las cuales son: matriz rocosa, discontinuidad, fracturas, diaclasas, fallas, grietas, plegamientos.

- **Matriz rocosa:** Es el material rocoso exento de discontinuidades, o los bloques de roca intacta que quedan entre ella, mecánicamente queda caracterizada por su peso específico, resistencia y deformabilidad.
- **Discontinuidad:** Es cualquier plano de origen mecánico o sedimentario que separa los bloques de matriz rocosa en un macizo rocoso.
- **Macizo rocoso:** es el conjunto de los bloques de matriz rocosa y de las discontinuidades de diverso tipo que afectan al medio rocoso.
- **Fracturas:** Es el termino general que se emplea para cualquier tipo de discontinuidad mecánica en la roca, tales como diaclasas, fallas, grietas, fisuras.
- **Diaclasas:** Es un plano de discontinuidad de separación en una roca que normalmente no implica desplazamiento. Las diaclasas suelen producirse como familias paralelas, que dividen al macizo rocoso en bloques.
- **Fallas:** Son fracturas de la corteza terrestre a lo largo de las cuales se producen o produjeron desplazamiento paralelo a la superficie de la fractura.
- **Grietas:** Es el término empleado para utilizar una fractura pequeña.
- **Plegamiento:** Son estratos que han estado sujetos a presiones alterándose lentamente por arqueamiento y donde la posición de los estratos es cambiada por tensiones de origen tectónico.

1.2.3 Caracterización del Macizo Rocoso

En todo estudio geológico-geotécnico la caracterización de un macizo rocoso constituye la fase inicial; implica la descripción de las características particulares que intervienen en el comportamiento geomecánico del macizo frente a procesos de desestabilización; como pueden ser la ejecución de excavaciones subterráneas. Las discontinuidades y los bloques de matriz constituyen en conjunto la estructura rocosa y gobiernan el comportamiento global del macizo rocoso, predominando uno u otro componente en función de sus propiedades; La caracterización de la matriz rocosa describe los siguientes aspectos: identificación, meteorización y resistencia a la compresión simple a su vez las discontinuidades se describen mediante parámetros físicos y geométricos para cada familia los parámetros son los siguientes: orientación, espaciado, continuidad, rugosidad, resistencia de las paredes, abertura, relleno y filtraciones. La investigación necesaria se puede abordar mediante: extrapolación de datos de superficie, medidas indirectas y medidas puntuales. A partir de la caracterización del macizo rocoso se aplican las clasificaciones geomecánicas que proporcionan información sobre la calidad y resistencia del macizo, así como también datos cuantitativos; para esta aplicación se requiere abordar los parámetros del macizo rocoso, para el siguiente informe se desarrolla el índice de calidad de la roca (RQD).

- Índice de Calidad de la Roca (RQD)

El Rock Quality Designation (RQD), es un índice que representa la relación entre la suma de las longitudes de los fragmentos de testigo mayores de 10cm y la longitud total del tramo considerado y se expresan como porcentaje; esto se mide en testigos de sondeos. Cuando no se dispone de testigos de sondeos, el RQD puede ser estimado a partir de una línea o de un área de mapeo; la correlación de Palmström (1982) para un área de mapeo sugirió que el RQD puede ser estimado a partir del número de discontinuidades por unidad de metro lineal (J_v), en el cual el número de discontinuidades por metro para cada familia es sumado, la fórmula se expresa de la siguiente manera:

$$RQD = 115 - 3.3 J_v$$

1.3 CLASIFICACIONES GEOMECÁNICAS APLICADAS EN TÚNELES

Las clasificaciones geomecánicas determinan de manera empírica el diseño en la ingeniería de rocas relacionando la experiencia ganada en práctica en diferentes proyectos. Las características de los macizos rocosos que se consideran en las distintas clasificaciones son las siguientes: Resistencia del material rocoso, índice (RQD), espaciado de las discontinuidades, orientación de las discontinuidades, condiciones de las discontinuidades, estructura geológica y fallas, filtraciones y estado tensional. Entre las distintas clasificaciones para túneles propuestas hasta el presente sobresalen las de Terzaghi (1946), Kaufer (1958) Deerl (1967), Wickham (1972), Bieniawski (1973) y Barton (1974), de las cuales los dos últimos proporcionan procedimientos cuantitativos aplicables a los actuales sistemas de sostenimiento y construcción de túneles.

1.3.1 Clasificación de Bieniawski (RMR)

El sistema de valoración del macizo rocoso (RMR) desarrollado por Bieniawski en 1973, conocido como clasificación geomecánica RMR, constituye un sistema de clasificación de macizos rocosos que permite relacionar índices de calidad con parámetros geotécnicos de excavación, del macizo rocoso y sostenimiento aplicado en túneles, los parámetros usados para clasificar un macizo rocoso utilizando el sistema RMR son los siguientes: resistencia a la compresión uniaxial de la roca RMR (1), índice de calidad de la roca (RQD) RMR (2), espaciado de las discontinuidades RMR (3), condición de las discontinuidades RMR (4), condición de infiltraciones de agua (5), Orientación de las discontinuidades RMR (6), en la evaluación por parte del departamento de geología del proyecto Cheves se considero la RMR (2+3) a la clasificación conjunta del índice de calidad y de la condición de las discontinuidades.

1.3.2 Índice Q

El índice Q de clasificación de macizos rocosos fue desarrollado en Noruega en 1974 por Barton, Lien y Lunde en 1974, el sistema está basado en una evaluación numérica de seis parámetros que definen el índice Q. Este índice viene dado por la siguiente expresión:

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

1.4 INVESTIGACIONES REALIZADAS PARA LA CONSTRUCCIÓN DEL TÚNEL DE CONDUCCIÓN

Los estudios realizados para la construcción del túnel de conducción fueron los siguientes:

- Sondaje Diamantino DDH-CHCH-TA-PE.

Localizado en las coordenadas 8 800 365 N y 294 000 E, en la cota 2170.5 msnm, margen izquierdo del río Checras. Tuvo una profundidad de 200.02 m, con una inclinación de -20° y orientación S60W^o. Su objetivo fue determinar las condiciones geotécnicas del macizo rocoso en el estribo izquierdo de la Presa Checras. Los datos obtenidos se encuentran en el anexo A.

- Ensayo de Carga Puntual.

Se realizaron ensayos de carga puntual en testigos intactos y en testigos con fracturas cerradas, para determinar su resistencia a la compresión simple, estos testigos fueron seleccionados en tramos representativos del sondaje DDH-CHCH-TA-PE, el cual presenta intercalaciones de cuarcitas grises y cuarcitas blanquecinas muy duras (100-250MPa), con estratos delgados de lutitas gráficas duros (50-100MPa), estos últimos se observan persistentes entre los 180 a 200m de profundidad.

- Estudios Petrográficos y Mineralógicos.

Obtenida del sondaje DDH-CHCH-TA-PE (Portal de entrada, túnel de conducción), definida como una cuarcita con filosilicatos y materia carbonosa (grafito) depositada en un ambiente detrítico y metamórfico, con una textura lineal y de re cristalización. La calidad geomecánica de la roca este seriamente afectada por la matriz de filosilicatos y la materia orgánica que pueden constituir planos de debilidad.

1.5 CONDICIONES GEOLÓGICO REGIONALES

1.5.1 Geomorfología

Los rasgos geomorfológicos más importantes en las cuencas de la Costa Peruana está representado por la Superficie Puna, localizada sobre los 4 200 a 5 000 msnm y que corresponde a una superficie peneplanizada, que fue levantada a lo largo de grandes fallas regionales desde una posible cota de 500 msnm desde el Mioceno (60 Ma.), esta etapa de erosión se desarrolló entre las fases tectónicas incaica y quechua y actualmente presenta rasgos de una intensa

actividad de glaciares de montañas, de los cuales, solo se observan remanentes en la Cordillera de Raura, con valles en forma de "U" y nevados permanentes.

Esta Superficie fue afectada por dos eventos erosivos posteriores, relacionados con eventos tectónicos, el primero correspondiente a una erosión que llegó hasta una etapa de madurez, caracterizándose por presentar un valle con amplias laderas y cauces, denominándose Superficie Chacra o Valle, que se desarrolló entre los 6.0 a 14 Ma. y una segunda, que erosionó esta superficie Valle originando profundos cañones y valles estrechos denominada, etapa o Superficie Cañón.

En el Área del Proyecto, ubicado entre las cotas 1 500 a 2 50 m, se encuentran superpuestas las dos superficies Valle y Cañón, caracterizándose la primera por pendientes de 1/6 a 1/14, en forma de "V", en sus cumbres y con laderas que terminan en superficies con pendiente de 45° a 70°. La Superficie Valle está cubierta parcialmente por depósitos aluviónicos de grandes dimensiones que se originaron durante la etapa Cañón y continuaron durante las desglaciaciones, estos depósitos presentan diversas terrazas, con paredes escarpadas y erosionadas formando cárcavas. El drenaje principal tiene una orientación de 280° a 300° de azimut, especialmente en el curso inferior, en las partes más altas está controlado por sistemas de fallas o por ejes de plegamientos como el Río Checras. Las condiciones regionales se pueden apreciar en los siguientes planos del anexo E, CHCHE-201 CHCHE-203 y CHCHE-204.

1.5.2 Estratigrafía

a) Formación Chimú

Consiste de una secuencia de ortocuarcitas blancas de grano medio, con intercalaciones de lutitas negras, presentándose las ortocuarcitas en bancos gruesos, masivas y con estratificación cruzada, las que por su alta resistencia han predispuerto una topografía prominente, con escarpas casi verticales. Las lutitas son de color negro y contiene restos de plantas, siendo más abundantes en la base de la formación, donde se observa algunos mantos de carbón. En el área de Proyecto aflora en la confluencia de los ríos Huaura y Checras formando una serie de pliegues subparalelos de dirección NW-SE interceptando a todas las obras de derivación Huaura y el Túnel de Conducción entre su portal de entrada y la progresiva 1+500. Su grosor estimado es de 600 – 700 metros, la

presencia de carbón y plantas, indica que esta formación se depositó en un ambiente del tipo Deltaico.

En el área de Churin la parte superior de Chimú tiene mayor espesor de lutitas, observándose un tramo de varias decenas de metros de este tipo de roca, suprayaciendo a las calizas de la Formación Santa. Las características geotécnicas de esta Formación están definidas por la presencia de las ortocuarzitas en bancos, muy competentes pero frágiles, las cuales se presentan moderadamente a muy fracturadas, muy a extremadamente resistentes, frescas y con fracturas abiertas con oxidación en sus paredes. Las lutitas carbonosas y las cuarcitas grafiticas se encuentran intercaladas entre las ortocuarzitas, se presentan intensamente fracturadas, poco resistentes y frescas, con un comportamiento dúctil, por lo cual se puede deformar fácilmente.

b) Grupo Casma

Serie constituida por rocas volcánicas con intercalaciones de rocas sedimentarias. Las rocas volcánicas consisten en su mayor parte de derrames lávicos delgados de andesita masiva porfirítica o de grano fino, con espesores de 3 a 5 m. Las rocas sedimentarias consisten en areniscas, cuarcitas blancas, lutitas de colores pardo marrón a gris y capas de calizas delgadas de color gris intercaladas con margas. En este grupo litológico se excavará el Túnel de Conducción entre el km 1.5 y el km 5, incluyendo 500m de la Ventana Intermedia. Así mismo, los túneles de descarga (1.5 km) y de acceso a la Casa de Máquinas (900 m). Este macizo rocoso, se presenta leve a moderadamente fracturado, muy resistente, fresco y con fracturas abiertas, presentando condiciones más débiles geotécnicamente en las inmediaciones de su contacto con las rocas intrusivas, debido al metamorfismo térmico que lo ha afectado.

1.5.3 Depósitos Cuaternarios

- Depósitos Aluvionales (Q-alv).-

Se han acumulado en los cauces de los ríos Checras y Huaura, transportados durante la ocurrencia de grandes crecidas y posibles roturas de diques morrénicos frontales en las partes altas. Estos depósitos han originado llanuras aluvionales en diferentes niveles, encontrándose las más antiguas a alturas superiores a los 400m con respecto al cauce actual del río, por lo que están asociadas a pulsaciones de los levantamientos relacionados con la etapa de erosión Cañón. Estas terrazas aluvionales han sido posteriormente disectadas,

formando surcos por la escorrentía superficial y erosionadas por los ríos formando escarpas. Consisten en bloques y bolonería subangulosa envueltos en una matriz limo-arcillosa.

- **Depósitos Fluvio-Aluviales (Q-fv/al).-**

Se encuentran en los cauces de los ríos, presentan una mayor extensión en el cauce del río Checras, aunque con espesores cortos, debido a sus intercalaciones con depósitos aluviales o flujos de barro que han cubierto a estos depósitos. Consisten en bloques y gravas subredondeadas, envueltos en una matriz areno-limosa, poco plástica y no cohesiva. Presentan mayor desarrollo en el río Huaura, hacia el área de la casa de máquinas, ubicada en la confluencia del río Paccho con el río Huaura.

- **Depósitos Coluviales (Q-co).-**

Están asociados a deslizamientos o derrumbes. Los primeros, han ocurrido en las terrazas aluviales antiguas y son del tipo rotacional, el material es similar al material de las terrazas aluviales. Los segundos, están asociados con la formación de escombreras y se relacionan con afloramientos rocosos que presentan laderas escarpadas, con fracturas subverticales y son afectadas por desprendimientos de roca por volteo o toopling, están muy desarrolladas en el tramo de la carretera a Churin entre Pampa Libre y la Quebrada de Paccho en afloramientos de rocas intrusivas y volcánicas. Consisten en grandes bloques y bolones angulosos con muy poca matriz de material fino.

- **Huaycos o Flujos de Barro.-**

Están relacionados con las pequeñas quebradas que disectan las laderas y son tributarias a los ríos principales, se observan formando conos de deyección en los cauces de los ríos, el material acarreado procede del intemperismo y erosión de rocas principalmente de origen volcánico sedimentario y rocas lutáceas o de las terrazas aluviales antiguas.

1.5.4 Rasgos Geo-estructurales

El origen de los Andes es el resultado del conjunto de eventos geotectónicos ocurridos desde el Mesozoico hasta el Cuaternario "Ciclo Andino", los mismos que han sido divididos en dos grandes periodos por B. Dalmayrac. El primero comprendido entre los 150 Ma a 80 Ma (Triásico y Santoniano) caracterizado por su estabilidad y el segundo comprendido a partir de los 80 Ma, entre el Santoniano y la época correspondiente al periodo de inestabilidad, en el cual

ocurrieron una sucesión de fases breves de compresión separadas por largos periodos distensivos, durante los que se emplazaron gran cantidad de rocas intrusivas y volcánicas. La cuenca Occidental Peruana ha sido un área de subsidencia con varias subcuencas interconectadas en gran parte del Ciclo Andino, los cuales actuaron independientemente en bloques limitados por fallas.

1.5.5 Condiciones Sismo-Tectónicas

La cuenca del río Huaura por estar ubicada dentro del Cinturón Circun-Pacífico, se considera una región de alta actividad sísmica. Las principales unidades tectónicas son: La Cordillera de los Andes y la Fosa Tectónica de Lima, producto de la interacción de las placas Sudamericana o Continental que se desplaza en sentido Nor-Oeste, y la Placa de Nazca en dirección Este. El encuentro de estas placas ha producido zonas de fracturas en la corteza terrestre y por consiguiente focos de eventos sísmicos, que muchas veces han afectado con severidad a la cuenca.

• Rasgos Tectónicos

Los rasgos tectónicos que se observan en la cuenca del Río Huaura están evidenciados por fallamientos de rumbo NW-SE que afectan a las rocas del Cretáceo y Terciario Inferior. Dichas estructuras han sido generadas por la Tectónica Andina: Fase Peruana e Incaica. La litología de las unidades geológicas ha jugado un papel importante en la deformación actuando de manera diferente en cada caso, lo que está relacionado a la sismicidad observada.

• Distribución Espacial de la Sismicidad

De acuerdo a antecedentes históricos, en el periodo 1962-1988, la cuenca ha tenido poca actividad sísmica, sumando estos eventos un total de 4, con magnitudes mayores a 4.2 (mb) y profundidades entre 2 y 89 km.

• Regionalización Sismo tectónica

De la intensidad máxima posible, determinadas por la relación de la sismicidad con la tectónica, en la cuenca del río Huaura las intensidades máximas posibles que puedan ocurrir son de IX MM.

Analizando los antecedentes históricos de la actividad sísmica. En la cuenca se observa registros de intensidades VIII-IX MM en el litoral costero y VI-VII MM en la parte Andina; así mismo en el Siglo XX las intensidades alcanzadas en la

parte baja y media de la cuenca han sido de VII-VIII MM y en la cuenca superior VI MM.

1.5.6 Geodinámica Externa

Para la evaluación de la incidencia de los fenómenos de geodinámica externa en el área del proyecto se ha tomado en cuenta el "Estudio Geodinámica de la Cuenca del Río Huaura", realizada en el año 1990 por la Dirección General de Geología del Instituto, Geológico Minero y Metalúrgico. En la ocurrencia de los fenómenos geodinámicas en todas sus formas, han intervenido en forma directa o indirecta los siguientes factores:

• Factores Litológicos

Se consideran las formaciones superficiales y del substrato, donde la erosionabilidad y estabilidad de taludes es obviamente variable y están en relación directa a las características de las diferentes formaciones, así tenemos que los depósitos glaciares que son más consistentes y menos erosionables que los depósitos coluviales de menor consistencia. En el segundo caso, las cuarcitas son más resistentes a la erosión que las areniscas friables y lutitas. También es importante el comportamiento de las diferentes formaciones frente a la infiltración y a la escorrentía superficial. Así mismo, los derrames y piroclásticos del Volcánico Calipuy muestran predisposición a erosión en cárcavas, fenómenos de derrumbes y deslizamientos.

• Factores Climatológicos

En el área de la cuenca del río Huaura, que influye en el proyecto, se han considerado sectores climáticos, cuyos regímenes pluviométricos y la cobertura vegetal es escasa, son los factores condicionantes de desestabilización. Estos son:

- Piso Altitudinal de 2 000 a 3 200 m.s.n.m. Presenta dos áreas diferenciadas, constituidas, una por laderas de vertientes de relieve semi-accidentado y otra por montañas semiáridas muy accidentadas, con regímenes pluviométricos abundantes, torrenciales y fugaces, con largos periodos de sequías, con temperaturas fluctuantes de día y noche. En este ambiente la meteorización físico-mecánica; la erosión pluvial laminar, difusa en surcos y cárcavas es predominante, ocasionando los desprendimientos de rocas, derrumbes, escombros de talud y huaycos. Este ambiente estaría comprendido entre Sayan, Churin-Oyón- Santa Cruz.

- Piso Altitudinal de 3 200 a 3 800 m.s.n.m.- Topográficamente corresponde a laderas y valles de relieve ondulado a semiaccidentados y montañas sub-húmedas a húmedas de relieve muy accidentado y escasa vegetación, con un marcado aumento de lluvias y temperaturas variables, donde predominan las formas de modelado fluvial. En este ambiente, ocurren tanto, intemperización física-mecánica, y química en forma intensa y profunda. Este ambiente estaría comprendido entre Churin-Oyón-Quichas, Rapaz-Cochamarca.

Piso Altitudinal de 3 800 a 4 800 m.s.n.m. Área de relieve ondulado a muy accidentado. Las precipitaciones son más intensas, con temperaturas medias a bajas llegando hasta la congelación. Predomina un sistema de erosión tipo periglacial, de vegetación escasa, permitiendo el intemperismo físico-mecánico y químico intenso, originando desprendimiento de rocas, deslizamientos, derrumbes y huaycos.

La erosión hídrica superficial se manifiesta en forma laminar, difusa, lineal y en cárcavas. La forestación aislada no protege los suelos y además son explotados en forma indiscriminada y el pastoreo extensivo. Esta área comprendería las laderas de las Cordilleras de Raura, Cushuropata; Rumi Cruz y Callejón.

- Ambiente Pluvial y Gélido.- Encima de los 4 800 msnm. De topografía muy accidentada y abrupta, de temperaturas bajas a gélidas, con precipitaciones pluviales abundantes en forma sólida.

En este ambiente predomina el sistema de erosión glacial, erosión física mecánica, originando aludes, desintegración y desprendimientos de rocas en las Cordilleras de Raura, Cushuropata, Rumi Cruz y Callejón.

Tipos de Afectaciones por Fenómenos de Geodinámica Externa:

• **Daños por Erosión en Cárcavas**

El agua de escorrentía superficial que corre por la pendiente desprotegida de vegetación (Valle del río Huaura), según la cantidad, intensidad y velocidad abre hendiduras profundas en el suelo incoherente. Dentro de la cuenca hidrográfica del río Huaura, esta modalidad de erosión se observa en los taludes de los valles y altiplanicies, especialmente entre Sayan y Oyón, Valle de Checras, Quebrada Huandoy y Valle Auquimarca.

- Daños por desprendimientos de rocas

Estos fenómenos se presentan en el valle del río Huaura y su red tributaria con características de activación diferentes, dependiendo de la litología, carácter y densidad de fracturamiento, diaclasamientos, pendientes y clima, entre otros.

- Daños por deslizamientos

Estos movimientos de masas son desplazamientos de las formaciones superficiales y rocas no coherentes, bajo la influencia combinada de la gravedad y de la saturación del agua. Estos fenómenos ocurren en la cuenca del río Huaura condicionados por factores como: la fuerte pendiente de laderas; discontinuidad litológica; saturación acuosa de depósitos del cuaternario y roca incoherente por infiltraciones de aguas de lluvias, subterránea y de riego.

1.5.7 Condiciones Geológicas del Túnel de Conducción

- Condiciones Geológicas

El Túnel de Conducción entre las progresivas 0+000 a 2+400 se excavará dentro de la Formación Chimú, consistente en intercalaciones de bancos de cuarcita blanquecina a gris, intercaladas con estratos delgados de lutitas carbonosas (presencia de grafito) y laminas de carbón. Los primeros 200 m en el portal de entrada de este túnel, fueron investigados mediante el sondaje DDH-CHCH-TAPE determinándose la secuencia estratigráfica y las condiciones geomecánicas.

Entre las progresivas 2+400 a 4+250 se tiene previsto excavar dentro de volcánicos porfíricos de composición andesítica en bancos con pseudo-estratificación, intercalados con algunas brechas volcánicas pertenecientes al Grupo Casma. Entre las progresivas 4+250 a 4+600 se excavará una zona de rocas corneanas producto del metamorfismo de contacto entre el Stock Churin Bajo con los volcánicos del Grupo Casma.

De la progresivas 4+600 hasta aproximadamente la progresiva 9+120, el túnel atravesará rocas intrusivas pertenecientes a la Super Unidad Paccho, compuesta de Tonalitas de textura fanerítica leucócratas. Por último entre las progresivas 9+120 y 9+690 (intersección con el conducto forzado) se estima que se excavará dentro de Hornfels (corneanas cuarzo-feldespáticas).

- Condiciones Estructurales

En el tramo que atraviesa las cuarcitas de la Formación Chimú se interceptarán tres estructuras de plegamiento cuya zona de afectación, debido a sus ejes será:

progresiva 0+100 a 0+200 (anticlinal), de 0+500 a 0+600 (sinclinal) y del 1+100 a 1+200 (anticlinal) y una falla de sobre escurrimiento paralela a la estratificación entre 1+650 a 1+750. De acuerdo a estas condiciones y tomando en cuenta que la excavación en este tramo del túnel será desde la ventana intermedia hacia el portal de entrada del túnel de conducción, N60°E, los tramos con el buzamiento desfavorable por encontrarse en contra de la dirección de excavación serán de 0+200 a 0+500 y de 1+200 a 2+250, y los tramos favorables según la orientación de los estratos será de 0+000 a 0+100 y de 0+600 a 1+100. En los afloramientos volcánicos se han detectado fallas que presentan una estructura de graben, entre las progresivas 2+500 a 3+800.

En el tramo de las rocas intrusivas (4+600 a 9+120) y hornfels (4+250 a 4+600 y 9+120 a 9+690) se observan fallas entre las progresivas: 6+270 a 6+370, 6+800 a 6+900, 7+200 a 7+300, 8+340 a 8+440, 8+560 a 8+660 y 9+120 a 9+220. Estas fallas han sido relacionadas con depresiones observadas en superficies, pueden estar asociados también a zonas de intenso corte o fracturamiento

- Condiciones de Temperatura y Gases

De la experiencia en excavaciones subterráneas en túneles cercanos a la costa en rocas intrusivas y rocas volcánicas terciarias no se han encontrado altas temperaturas durante la construcción de túneles, siendo las más elevadas las encontrada durante la excavación del túnel Carhuaquero con coberturas máximas que llegaron a 1200m, en las cuales las temperatura en el interior del túnel llegaron a 40° C . En el Túnel de Conducción de Cheves se consideran temperaturas inferiores a los 40° C por presentar encampanes máximos del orden de los 800 m. No se espera que se produzcan emanaciones de gases, salvo por la presencia de lentes grafiticos o de antracita que se localicen dentro del tramo que se excavará en la Formación Chimú, por lo que, es recomendable sobre todo en este tramo el empleo de equipo de detección de gases durante la excavación y además asegurar un buen sistema de ventilación a lo largo de todo el Túnel.

- Condiciones Geomecánicas

En el anexo B y en el plano CHCHE-210 del anexo E, se presenta el zoneamiento geomecánico en el túnel de conducción, tomando en cuenta las clasificaciones del macizo rocoso mencionadas (Q', RMR' y GSI), su resistencia a la compresión simple y RQD asumido, así como la sobrecarga.

CAPITULO II: HIDROGEOLOGÍA

La presencia de aguas subterráneas en el terreno condiciona la ejecución de la construcción de un túnel, la naturaleza y magnitud del caudal de agua dependerá de las condiciones geológicas de los estratos, de la presencia de fracturas, de la permeabilidad del macizo rocoso y de la presión hidrostática.

En el presente capítulo, tras una revisión de algunos conceptos básicos de la hidrogeología se desarrollara las condiciones hidrogeológicas de la zona que abarcara el túnel de conducción.

2.1 EL AGUA SUBTERRÁNEA

El agua subterránea se encuentra en la zona de saturación bajo el nivel freático. Los depósitos de agua subterránea están controlados por procesos de recarga y descarga. La recarga proviene generalmente por la infiltración de las aguas de las lluvias sobre materiales permeables y la descarga se da por la evaporación y transpiración de las plantas y drenaje de manantiales.

2.2 HIDROGEOLOGÍA REGIONAL

2.2.1 Hidrología

Las características hidrológicas de la cuenca del río Huaura están determinadas en gran medida por su configuración fisiográfica. La altura media sobre el nivel del mar, la orientación predominante de la cuenca noreste suroeste, la presencia de abras, cordilleras y quebradas profundas son los principales factores condicionantes del clima y la precipitación.

- **Precipitación**

El escurrimiento natural se origina como consecuencia de las precipitaciones estacionales que ocurren en la cuenca alta y del deshielo de los nevados. La precipitación media anual varía desde escasos milímetros en la costa árida y desértica, próxima al mar, hasta alrededor de los 1,559.4 mm (registrado en la estación Raura), en las nacientes del río Quichas, por encima de la cota 4,800 m.s.n.m. Las precipitaciones que ocurren en las partes altas de la cuenca, durante los meses de octubre a mayo tienen su origen en las masas de aire húmedo, de la cuenca del Amazonas. En el piso del valle la presencia de lluvias es escasa a casi nula, solamente se presenta una ligera llovizna entre los meses de Julio, Agosto y septiembre.

- **Escorrentía superficial**

El colector principal de las aguas superficiales en la cuenca; es el río Huaura; que tiene sus orígenes en los nevados, glaciares y lagunas ubicadas en la parte alta; en las cercanías de la divisoria continental que separa a las cuencas de los ríos Marañón, Huallaga y Mantaro. Entre las lagunas destacan las de Surasaca, Cochaquillo, Patón, Coyllarcocha y Mancancocha, embalsadas y en actual operación, todas estas lagunas se hallan ubicadas a una altura de 4,500 m.s.n.m. La cuenca limita por el norte con las cuencas del río Supe y Pativilca, por el sur con la cuenca del río Chancay-Huaral, por el este con las cuencas de los ríos Marañón, Huallaga y Mantaro y por el oeste con el Océano Pacífico. Cuenta con un área de 3,015 km² por encima de la cota 1,800 m.s.n.m., área que corresponde a la denominada cuenca húmeda o “imbrífica” del río Huaura que tiene un área total de 5,381 km². en sus nacientes el río Huaura recibe el nombre de Quichas, manteniendo esta denominación hasta la localidad de Oyón y la desembocadura del río Pampahuay, a partir del cual el río se denomina Huaura, hasta su desembocadura en el Océano Pacífico.

El río Huaura discurre predominantemente en dirección este – oeste con una longitud de 155.2 km. Se tienen registros de caudales medios diarios desde el año 1926 donde se tiene que la descarga máxima controlada fue de 230 m³/s, y la mínima de 6.17 m³/s, siendo la descarga media anual de 34 m³/s aproximadamente 27.71 m³/s, que equivale a su volumen medio anual de 856 millones de metros cúbicos.

En la cuenca del río Huaura se tiene 119 fuentes naturales de agua fría y 18 fuentes termales.

2.2.2 Influencia de las Condiciones Hidrogeológicas

La presencia de agua subterránea plantea problemas, tanto en la fase de ejecución como en el periodo de servicio, en la construcción de un túnel este se comporta como un dren que canaliza el agua de los acuíferos interceptados, esto puede originar una serie de acciones inducidas sobre el terreno, dentro de las consecuencias más destacables se pueden apuntar las siguientes:

- Disminución de la resistencia del macizo rocoso.
- Aumento de las presiones intersticiales sobre el sostenimiento y el revestimiento.

- Hinchamientos y reblandecimientos en materiales arcillosos.
- Problemas de avance en la excavación.

2.3 CONDICIONES HIDROGEOLÓGICAS DEL TÚNEL DE CONDUCCIÓN

Las filtraciones en los macizos rocosos provienen principalmente de: fallas, fracturas, rellenos de falla, zonas alteradas, contactos litológicos entre rocas de diferente permeabilidad, conductos cársticos. En la práctica no es fácil evaluar los caudales y las presiones de agua a lo largo del túnel. Según los sondajes realizados en el portal del túnel de conducción se detectó presencia de agua subterránea, en el sondaje se atravesó un afloramiento de rocas cuarcíticas de la formación Chimú, la cual presenta intercalaciones de capas de lutitas carbonosas y cuarcitas con grafito.

En la formación Chimu se tiene el acuífero Fisurado Chimú, en la parte inferior presenta arenisca cuarzosa en bancos gruesos de estratificación cruzada e intercalaciones de limoarcillitas y estratos delgados de carbón. Hacia la parte superior se compone principalmente de arenisca cuarzosa blanca de grano medio a grueso. Aflora en la parte alta y central de la cuenca. Los valores de permeabilidad, son altos; se encuentran entre 13 y 36 m/día. Presentan permeabilidad secundaria importante, producto del fracturamiento asociado a la intensa actividad tectónica expresada por pliegues, fracturas (abiertas) y fallas (locales y regionales) que actualmente se comportan como estructuras hidrogeológicas con capacidad de almacenar y transmitir aguas subterránea. La formación Chimú es uno de los acuíferos más importantes de la cuenca; de este acuífero proceden las aguas termales y medicinales que afloran en Churín y Checras. Esta presencia de agua subterráneas está asociada al intenso grado de fracturamiento existente en este tipo de rocas, las cuales se presentan desde muy a moderadamente abiertas en especial en los tramos afectados por ejes de plegamiento y fallas.

En el túnel de conducción por las características de los afloramientos rocosos atravesados no se esperaba encontrar surgencias de agua en el interior del túnel según los estudios realizados, salvo agua de infiltración por escorrentía superficial durante la época de lluvia a través de las cuarcitas de la formación Chimú, intensamente fracturadas y con fracturas abiertas entre las progresivas 0+400 y 0+700; por lo tanto se considero que el túnel de conducción se comportaría como un túnel seco.

CAPITULO III: INYECCIONES EN MACIZOS ROCOSOS PARA LA IMPERMEABILIZACIÓN DE TÚNELES

La impermeabilización de un túnel puede tener diversos grados de exigencia y tiene gran importancia, tanto técnica como económicamente, ya que contribuye a mejorar la calidad, conservación y resistencia, por ello una correcta construcción debe ser acompañada de un adecuado sistema de impermeabilización, generalmente hay una primera etapa que consiste en captar las filtraciones singulares y encauzarlas al colector general, cuando la dispersión de puntos con caudales sensibles es grande, cabe hacer un tratamiento del terreno con inyecciones. Una buena impermeabilización es una necesidad para la excavación y también una importante precaución para proteger el revestimiento por lo tanto durante la planificación y ejecución de un proyecto de un túnel, se debe tener en cuenta los siguientes factores: Condiciones del terreno y tipo de construcción; presencia de agua y estado en que se encuentra el terreno; grado de impermeabilización requerido y tipo de servicio que prestará el túnel. Para el caso de túneles hidráulicos la impermeabilización debe ser completa y dentro de los diferentes métodos de tratamiento, las inyecciones tienen una gran importancia en la actualidad. En las especificaciones técnicas del proyecto Cheves, se detalla en el capítulo 4 lo siguiente: "Las mezclas de inyección no están diseñados ni especificados en detalle en la fase de licitación. Los trabajos de inyección se decidirán y se diseñaran por el Ingeniero en cooperación con el Contratista durante la excavación . El Contratista , en cualquier momento durante el avance de las obras debe proporcionar y mantener los equipos y materiales adecuados con reservas en espera, para poder llevar a cabo en cualquier momento operaciones de perforación y de inyecciones".

3.1 MARCO TEÓRICO

3.1.1 Antecedentes

Fue el francés Charles Berigny quien por primera vez dio una aplicación de inyección en el terreno esto se realizo hace casi 200 años, quien empleo una suspensión de agua y cemento con puzolana, con el fin de rellenar las cavidades existentes en los cimientos de una esclusa de los canales de navegación de Paris al Havre, la cual venían afectados por asentamientos, además de sellar y estabilizar el depósito aluvial de la zona, Charles Berigny fue también el creador del procedimiento de la inyección, realizando también el primer diseño conocido

de una inyección. Dentro de la ingeniería civil, es en 1893 cuando se inicia el tratamiento de sellado de fisuras y refuerzos en los cimientos de presas, aplicando las experiencias obtenidas por los ingenieros de minas en la excavación de pozos; en 1915 surgen por primera vez las pantallas de inyecciones de cemento, y dando el paso a las bombas hidráulicas de alta presión. Las aplicaciones de inyecciones se daban en sellado de rocas fisuradas, estabilización de suelos flojos con la finalidad de mejorar sus condiciones hidráulicas o aumentar la capacidad de carga, esta posibilidad de mejora es limitada, debido a que las partículas de cemento han de pasar a través de los canales existentes entre los poros del suelo y fisuras de la roca; con el tiempo las inyecciones de cemento mejoraron al reducir la finura del cemento, en la actualidad se desarrollan mezclas químicas, de resinas y espumas.

3.1.2 Definición

Las inyecciones de macizos rocosos pretende la introducción en el terreno, a presión y caudal relativamente regulado y con magnitudes diferentes, de una lechada o mezcla cementante, con las características de fluidez y viscosidad adecuada, a través de sondeos o perforaciones que permitan alcanzar la zona a tratar y la preparación de la mezcla a inyectar, con el objetivo fundamental de reducir o evitar la filtración de agua en la excavación, en muchas ocasiones otro efecto que se pretende conseguir consiste en la mejora de la estabilidad del macizo rocoso.

Las técnicas de inyección se iniciaron desde la práctica, es intuitivo de que el relleno de huecos o cavidades presenten en el terreno permite su estabilización y sellado a medida que el material inyectado se endurece o solidifica haciendo el procedimiento más efectivo a medida que el relleno del hueco es completo, el material de inyección se mantiene en movimiento a causa de la presión de inyección una presión inadecuada en la inyección puede originar levantamientos, movimientos indeseados, esfuerzos excesivos sobre el terreno.

3.2 PARÁMETROS PRINCIPALES

Existen parámetros principales los cuales son: viscosidad del material inyectado, presión de inyección y tiempo de inyección.

- **Viscosidad**

Las mezclas empleadas en las inyecciones se agrupan en dos categorías principales, esto según el comportamiento reológico: lechadas de partículas o suspensiones y lechadas sin partículas o soluciones. La diferencia principal entre éstas es la penetrabilidad de las suspensiones en relación al tamaño de poros o fracturas del terreno a inyectar. Las partículas de cemento contenidas en la mezcla colmatan en efecto los huecos durante el proceso de inyección, reduciendo su permeabilidad. La viscosidad de los materiales, necesariamente depende del tiempo, debido al proceso de endurecimiento, esta viscosidad aumenta continuamente después del proceso de mezcla, además depende también de la temperatura, esto aplica al agua, a las suspensiones de cemento. La viscosidad del agua disminuye con el aumento de temperatura al contrario de las suspensiones de cemento en la cual su viscosidad aumenta cuando lo hace la temperatura.

- **Presión**

La presión aplicada a la inyección aumenta el radio efectivo del material, si se parte de que la presión exceda el límite de flujo y que las fracturas sean lo suficientemente amplias para permitir que las partículas sólidas penetren. Bajo estas condiciones, se puede esperar que una presión máxima conduzca a un radio efectivo máximo y a un mejor éxito en la inyección. En el campo de las inyecciones hay dos tendencias, una sostiene que con presiones elevadas se obtiene un éxito mayor, debido a que las altas presiones desplazan las rocas y provoca que se abran fracturas y se generen otras, para que luego de concluida la inyección, las fracturas se cierren dejando una capa fina del material inyectado. La otra corriente no coincide con la aplicación de altas presiones, debido que para el caso de una roca de resistencia anisótropa, el material de inyección penetrara a lo largo de las juntas y fracturas hasta dispersarse sin lograr un amplio radio efectivo, esta tendencia defiende unas presiones más moderadas que no rompan el terreno.

- **Tiempo de Inyección**

El tiempo de inyección está relacionado con la evolución de la viscosidad del material inyectado, con la presión de inyección admisible y con el radio efectivo deseado o alcanzado. El fraguado inicial del cemento corresponde al comienzo de la hidratación total. En los trabajos de inyección, las lechadas de cemento son

bombeables desde la fase de agitación hasta que son inyectadas, también después del comienzo de la hidratación.

3.3 TIPOS DE LECHADAS

Las lechadas pueden clasificarse en dos principales categorías: suspensiones estables e inestables y líquidos

- **Suspensiones:** del tipo inestables son en general, mezclas de cemento diluido con agua en exceso en proporciones variables, no homogéneas y del tipo estables que son en general, mezclas de cemento y arcilla o bentonita y eventualmente un aditivo, también se les denomina lechadas a base de cemento.
- **Líquidos:** constituidos por materiales químicos y sus reactivos, resinas o productos hidrocarbonados en solución o en emulsión.

El presente informe solo se desarrollará en las mezclas a base de cemento.

3.3.1 Lechada a Base de Cemento

Las lechadas a base de cemento se forman a partir de agua y cemento solamente, o agua, cemento y otros productos que mejoran su estabilidad estos pueden ser bentonita, arcilla, arena y aditivos. Las lechadas a base de cemento y agua es la más empleada debido a su rápida obtención, a su reproducible rendimiento, a sus altos límites elásticos y al bajo coste comparado con cualquier tipo de lechada del tipo químico.

- **Suspensiones inestables**

Las suspensiones inestables son aquellas de cemento puro diluido con agua en exceso o en proporciones variables, su velocidad de flujo disminuye rápidamente a medida que aumenta la distancia desde la perforación a la zona de inyección, sedimentando las partículas en una proporción la cual disminuye con la relación agua cemento de la mezcla. El efecto de la sedimentación en estas suspensiones depende del tipo de cemento y de la dilución.

Las inyecciones con estas lechadas inestables pueden ser un método barato y eficaz su depósito en las fracturas crea como un depósito hidráulico, produciéndose una absorción importante relacionada con la presión de inyección y las posibilidades de evacuación del agua, además de una resistencia mecánica elevada.

- **Suspensiones estables**

Se definen como lechadas estables a las suspensiones en agua de partículas finas tales como: arcilla pura, cemento, bentonita o cementos activados por aditivos, que no presentan una decantación considerable durante las operaciones de inyección. Las inyecciones de cemento son normalmente las más usadas para el tratamiento de macizos rocosos, ya que además de ofrecer unos buenos resultados, los productos son bastantes más baratos, en la mayoría de los casos de inyección de cemento está constituida por cemento portland, ASTM I , a la cual normalmente se le adicionan aditivos para mejorar sus propiedades las cuales pueden ser: materiales para relleno grueso, productos reactivos, productos para conseguir efectos especiales.

En las inyecciones de relleno, los materiales usados normalmente son: tierra, arcilla, bentonita y agregados que pueden ser pesados o ligeros. Se añaden estos materiales con la finalidad de ahorrar cemento en las zonas donde los huecos y fracturas son demasiado grandes. Agregados como paja y aserrín o virutas de madera, pueden utilizarse bien para ocupar volumen o para inhibir la excesiva penetración. Las mezclas más comunes basadas en cemento son las lechadas de cemento activado y las de cemento bentonita.

Se conocen como lechadas activadas o coloidales a las lechadas que pueden ser mejoradas por acciones mecánicas o fisicoquímicas, mezclando a alta velocidad (1500 a 3000 r/min) se activa la hidratación de las partículas de cemento, proporcionando una mejor dispersión y provocando la formación rápida de pequeños elemento cristalinos de diferentes tipos de hidratos. La activación se realiza con el fin de obtener una mezcla estable a partir de una inestable con una fuerte dosificación de cemento y que presente una sedimentación casi nula , la activación se logra al impedir en una determinada mezcla la inmediata aglomeración, esto es posible para lechadas con una relación agua-cemento con bajos contenidos de agua, también puede lograrse mediante la adición de aditivos químicos fluidificantes. En el mercado actual se tienen aditivos para los siguientes efectos: aceleradores para reducir el tiempo de fraguado, retardadores que retrasan el tiempo de fraguado, lubricantes para aumentar la fluidez, coloides protectores para minimizar la segregación, materiales expansivos para reducir la retracción de fraguado y productos que reducen la cantidad de agua en la relación agua/cemento.

La mezclas de cemento-bentonita, emplea a la bentonita siendo este el principal aditivo para mejorar la estabilidad y penetración de la mezcla de cemento. La proporción adecuada para estabilizar totalmente un cemento de inyección es de 2-5 % de bentonita sódica, pudiendo actuar para casi todas las reacciones a/c. Cuando la bentonita se mezcla con cemento y agua se produce un cambio químico, pasando de bentonita sódica a bentonita cálcica, lo cual hace flocular la mezcla. Estos floculos creados son grandes y gelatinosos, previniendo la sedimentación del compuesto y estabilizando el fluido.

3.3.2 Consideraciones de Diseño de Lechadas de Cemento

En el empleo de la técnica de inyecciones se debe poner en práctica algunos parámetros, los más importantes son los siguientes:

- **Tamaño de la Partícula de Cemento:** Para las inyecciones se puede emplear cualquier tipo de cemento, sin embargo, los cementos de granulometría gruesa solamente pueden emplearse para el relleno de grandes huecos, mientras que un cemento finamente molido con tamaño de partícula pequeño atrapa más agua que un cemento de grano grueso, teniendo también un grado de hidratación más rápido y una resistencia final mayor esto normalmente sería favorable pero presenta un inconveniente en las tuberías y válvulas del equipo de inyección debido al corto tiempo de gelificación produciendo atascos en los accesorios del equipo.
- **Relación Agua-Cemento y su Efecto sobre la Durabilidad:** La elección de la relación agua/cemento se recomienda en función de la práctica, empezando por una mezcla fina empezando por una mezcla más fina que el tamaño de las fracturas y aumentando la relación durante el transcurso de la inyección. Las relaciones agua/cemento mayores de 1.0 tienen un caudal poco resistente, además de una menor estabilidad y durabilidad, debido a rellenos discontinuos de las grietas y al reducido tiempo de fraguado, mientras que las relaciones agua/cemento menores son más difíciles de inyectar, pero sufren menos segregación y aportan mayor resistencia que aquellas relaciones mayores. Para mezclas con relaciones mayores de 0.5 tienen bajas viscosidades y no presentan rigidez y con valores menores la viscosidad aumenta rápidamente, ganando algo de rigidez. En cuanto al tiempo de fraguado de este tipo de

lechadas, aumenta a medida que lo hace su relación agua/cemento, las mezclas tienden a fraguar a las 4-5 horas, pero si han sido muy diluidas su tiempo de fraguado puede llegar a ser 10 - 15 horas.

3.4 TÉCNICA DE INYECCIÓN PARA LA IMPERMEABILIZACIÓN

Cuando en la construcción de un túnel la presencia de agua causa problemas en la excavación, la filtración puede reducirse mediante la inyección. La etapa de inyección del macizo rocoso debe considerarse como un ciclo; la base para el inicio de los trabajos de inyección es una decisión que se basa en los resultados de los sondeos de reconocimiento, a partir de los cuales se tendrá una idea del escenario de infiltración de agua.

3.4.1 Perforación de Sondeos de Reconocimiento

Se realizan sondeos de reconocimiento mediante el equipo jumbo, es una manera sencilla y segura de conseguir información acerca de las características de la roca delante del frente de excavación. Este sondeo se realiza en aquellas zonas que presentan un riesgo elevado de encontrar agua, la longitud de estos sondeos depende de factores, como el equipo de perforación, las secuencias de los turnos de trabajo, etc. Durante la perforación de los sondeos se obtiene indirectamente información sobre el macizo rocoso, tales como parámetros de perforación presión de perforación, empuje y rendimiento de avance a su vez cambios de tipo de roca y la distancia a la cual se encuentra la infiltración de agua.

3.4.2 Perforación de los Sondeos de Inyección

Se realiza un abanico o paraguas de sondeos de inyección este abarca normalmente todo el túnel. La longitud de los sondeos depende de factores, tales como la seguridad, el tiempo del ciclo; las longitudes que se suelen emplear están comprendidas entre 15 a 25m, si se realizan sondeos más largos es por lo general, una operación que consume tiempo, siendo en estos casos la posibilidad de tener desviaciones de los sondeos; en la práctica también realizar sondeos cortos tomará ciclos continuos de inyección. Por lo tanto es necesario optimizar los ciclos de perforación e inyección, teniendo en cuenta las longitudes y superposiciones de los sondeos. El diámetro de los sondeos de inyección puede ajustarse al tamaño más práctico para cada caso, el principal aspecto a

tener en cuenta es que los sondeos intercepten a los canales de filtración de agua, normalmente los diámetros están comprendidos entre 48 y 60mm.

Normalmente los abanicos de sondeo forman un ángulo hacia el exterior del contorno del túnel, estos ángulos suelen estar entre 10° y 15°, medidos longitudinalmente desde el contorno del túnel.

3.4.3 Equipo Básico para las Inyecciones de cemento

El equipo básico para realizar inyecciones compone de: Mezcladores coloidales, bomba, manómetros y caudalímetros, mangueras y obturadores conocidos también como packers. En el proyecto Cheves se cuenta con el siguiente equipo de trabajo:

Cuadro N°3.1.- Equipo Básico para Inyecciones en el Proyecto Cheves

Cantidad	Equipo	Modelo
1	Bomba de inyección	OBERMAN, OM-500-3-3A
1	Bomba de inyección	Atlas Copco, UNIGROUT E22H
10	Obturadores mecánicos	TOPAC 51, L=1m
10	Obturadores hidráulicos simples	IPAC 58GS, L=500mm
5	Obturadores hidráulicos doble	IPAC 58GPC, L=500mm

Fuente: Elaboración propia



Figura N°3.1.- Bomba de Inyección- Atlas Copco, UNIGROUT E22H



Figura N°3.2.- Obturadores Hidráulicos y Mecánicos (Packers)

3.4.4 Procedimiento de Inyección

La inyección se debe iniciar en la base, ascendiendo poco a poco hacia el techo, la importancia de iniciar la inyección en la base radica en que así se puede asegurar una base estabilizada para la parte superior del cuerpo inyectado. Se instala el obturador en el taladro, normalmente se sitúa a una profundidad entre 1 y 2 metros al final del taladro, es recomendable instalar pocos obturadores al principio, de este modo puede observarse una eventual conexión entre los distintos sondeos de inyección. Si se produce esta conexión entre los sondeos se inyectará en estos antes de continuar con el esquema de inyección propuesto en el campo.

3.4.5 Sondeos de Control

Tras la finalización de la inyección, el resultado que se ha conseguido con ella tiene que controlarse antes de que se inicie el siguiente ciclo de excavación. Esto se realiza mediante sondeos efectuados en el frontón de excavación con el fin de comprobar si quedó algún tipo de filtración de agua. Si se encuentra más agua de la permisible, se debe realizar un ciclo adicional de inyección, el modelo o patrón se analiza en campo.

CAPITULO IV: APLICACIÓN DE LA TÉCNICA DE INYECCIONES EN EL TÚNEL DE CONDUCCIÓN

Para el presente informe la aplicación del método de inyecciones se llevo a cabo en un tramo del túnel, en las cuales la presencia de agua subterránea afecto el avance de excavación, como se menciona en el capítulo II, los estudios indicaban un túnel seco, con lo cual no se tenía previsto este problema. En la progresiva de excavación 0+921.70, en el ciclo de perforación de frente se detuvo los trabajos debido a que el caudal de agua filtrada superaba la capacidad de bombeo. Debido a que según las especificaciones técnicas del proyecto no se tenía definido los detalles de los tipos de mezclas, se procedió a realizar el reconocimiento del terreno para diseñar el tipo de mezcla a usar, procedimiento e instructivo de seguridad.

4.1 DESCRIPCIÓN DEL TRAMO 0+916.0 A 0+954.0

El túnel de conducción tuvo en la progresiva 0+916.0 la primera presencia de agua subterránea que superaba la capacidad de bombeo de las bombas de agua, la cual estaba conformada por dos bombas de 10 Kw en el frontón y una bomba de 18 Kw en el pozo N°1, el cual se ubica en la progresiva 0+260 de bombeo, del caudalímetro del pozo de sedimentación se tuvo un caudal de 2.5 metros cúbicos por minuto, como medida de control de agua al interior del túnel se instaló un línea más de tuberías de 6" y se instaló en el frontón una bomba de 18 Kw y una de 10 Kw y se aumentó una bomba de 37 Kw en el pozo 1 el cual se encontraba en la progresiva 0+260, con lo cual se tenía en el caudalímetro por canaleta parshall un caudal de 4 metros cúbicos por minuto, la excavación se procedió con problemas hasta la progresiva 0+921.6 en la cual se decidió aplicar inyecciones en el macizo rocoso.

4.1.1 Investigación Geológica y Clasificación del Macizo Rocosos

El tramo en el cual se presentaron los problemas con el agua subterránea fueron dentro de la formación Chimú, las características y clasificación del macizo rocoso que se tomaron en campo fueron los siguientes:

Cuadro N°4.1.- Clasificación Geomecánica y Caracterización de la Roca, frontón 0+918.6

Fecha:		12/11/2011		Tramo:		0+916 a 0+918.6		
Litología:		Intercalacion tobas andesítica						
Clasificación del macizo rocoso								
Clasificación Geomecánica RMR (Bieniawski)				Clasificación Geomecánica "Q" (Barton)				
RMR		Valoración	Puntuación					
RMR (1)	Resistencia comp. simple (Mpa)	100-125	10	RQD=115-3.3Jv				
RMR (2+3)	Juntas por metro	D1	8	23	RQD= 60 %			
		D2	7		RQD	60/6	10	
		D3	8		Jn			
		D4			Jr	15/4	0.38	
		Media	8		Ja			
RMR (4)	Estado de las Juntas	Continuidad	1-3m	4	Jw	1/2	0.5	
		Apertura	0.1-3	4	SRF			
		Rugosidad	L Rugoso	3	$Q = \frac{RQD}{J_n} \cdot \frac{J_r}{J_a} \cdot \frac{J_w}{SRF}$			
		Relleno	B<Smm	2	1.88			
		Meteorización	Ligero	5	Soporte Inicial			
		Suma		51	Soporte de roca tipo III			
RMR (5)	Presencia de agua	Humedo	Humedo	7	Shotcrete de 7.5 cm, toda la seccion			
Correccion según orientadon OBRA/DISCONTINUIDAD				0	Pernos, filas de 4-5 @2.0x2.0 m, L=3.0m			
Valoracion en RMR				58				

Fuente: Reporte de geología

Cuadro N°4.2.- Clasificación Geomecánica y Caracterización de la Roca, frontón 0+921.7

Fecha:		12/11/2011		Tramo:		0+918.6 a 921.7		
Litología:		Intercalacion tobas andesítica						
Clasificación del macizo rocoso								
Clasificación Geomecánica RMR (Bieniawski)				Clasificación Geomecánica "Q" (Barton)				
RMR		Valoración	Puntuación					
RMR (1)	Resistencia comp. simple (Mpa)	100-125	10	RQD=115-3.3Jv				
RMR (2+3)	Juntas por metro	D1	8	25	RQD= 50 %			
		D2	6		RQD	50/6	8.33	
		D3	8		Jn			
		D4			Jr	1.5/4	0.38	
		Media	7		Ja			
RMR (4)	Estado de las Juntas	Continuidad	1-3m	4	Jw	0.5/	0.25	
		Apertura	0.1-3	4	SRF	2		
		Rugosidad	L Rugoso	3	$Q = \frac{RQD}{J_n} \cdot \frac{J_r}{J_a} \cdot \frac{J_w}{SRF}$			
		Relleno	B<Smm	2	0.78			
		Meteorización	Ligero	5	Soporte Inicial			
		Suma		53	Soporte de roca tipo III			
RMR (5)	Presencia de agua	Humedo	Humedo	2	Shotcrete de 10 cm, toda la seccion			
Correccion según orientadon OBRA/DISCONTINUIDAD				0	Pernos, filas de 6-7 @1.5x1.5 m, L=3.0m			
Valoracion en RMR				55				

Fuente: Reporte de geología

Los detalles se pueden apreciar en el anexo C.

De la información obtenida los aspectos a tener en cuenta son los siguientes:

- Espaciamiento entre juntas abiertas.- esta información es importante, ya que cuando más pequeño sea éste mas fácil será la inyección, de la información en campo de los dos últimos avances tuvieron una puntuación media de 7 lo cual indica que las juntas son menores de 200mm.
- Apertura de las grietas.- Las aperturas que se encuentran entre los 0.5mm y lo 6mm son fáciles de inyectar, en juntas con aperturas superiores a 6mm el fluido viaja muy fácilmente, lo cual puede resultar perjudicial debido a que puede producirse excesiva, por el contrario aperturas inferiores a 0.5mm hacen difícil la entrada del fluido. De la información in situ la apertura tiene una puntuación de 4 con lo cual su apertura está entre 0.5mm a 1mm.

Inclinación y buzamiento.- En campo se observó que orientación del rumbo y buzamiento son favorables.

4.1.2 Investigación Hidrológica

La investigación del agua subterránea está encaminada hacia el estudio químico del agua, en las tablas siguientes se presentan en resumen la información obtenida del análisis químico realizado por el laboratorio del proyecto. Se adjunta en los anexos D los documentos del laboratorio de control.

Cuadro N°4.3.- Análisis Químico de las Muestras de Agua Subterránea

Análisis Químico en muestras de agua								
Fecha	PK	Descripción	Método	Unidad	Resultados	Temp.	Caudal del taladro	Evaluación
16/12/11	0+916.6	Contenido de sulfatos SO_4^{-2}	Colorimétrico	mg/L	>400	36º	136.8 l/min	Exposición moderada
		PH	Colorimétrico		6.5			<7.0 Alcalina
17/12/11	0+921.6	Contenido de sulfatos SO_4^{-2}	Colorimétrico	mg/L	<200	37º	238.8 l/min	Exposición moderada
		PH	Colorimétrico		7.5			>7.0 Alcalina

Fuente: Reporte de Laboratorio del Departamento de Calidad.

Cuadro N°4.4.- Análisis Químico de las Muestras de Agua Subterránea, 0+937

FECHA: 31/03/2011		PK: 0+937.00			
Descripción	Método	Unidad	Resultados	Evaluación	Observación
Contenido de sulfatos	Colorimétrico	mg/L	800<mg<1200	Max 2000 mg/L	Cumple
Contenido de Cloruros	Volumétrico	mg/L	175	Max 1000 mg/L	Cumple
PH	Colorimétrico		7	>=4	Cumple
Dureza de carbonatos	Volumétrico	mg/L de CaCO ₃	990.8	No especifica	-
Dureza total	Volumétrico	mg/L de CaCO ₃	1139.2	No especifica	-
Contenido de Amonio	Colorimétrico	mg/L	0	No especifica	-
Contenido de Magnesio	Colorimétrico	mg/L	300	No especifica	-
Contenido de dióxido de carbon	Colorimétrico	mg/L	150	No especifica	-
Aceites y grasas	BS EN 1008:2002 (6.1.1)		NP	Tabla 1	Cumple
Detergentes	BS EN 1008:2002 (6.1.1)		NP	Tabla 1	Cumple
Color	BS EN 1008:2002 (6.1.1)			Menos oscuro que el amarillo palido	
Sólidos totales		mg/L			-
Olor	BS EN 1008:2002 (6.1.1)		Np	Tabla 1	Cumple

Fuente: Reporte de Laboratorio del Departamento de Calidad.

Los ensayos se efectuaron bajo los parámetros de la norma BS EN 1008:2002, de la cual podemos observar que el agua subterránea se encuentra dentro de lo permitido según la norma mencionada.

4.2 APLICACIÓN DE LA TÉCNICA DE INYECCIONES

4.2.1 Diseños de Mezclas Aplicados en el Proyecto Cheves

En las especificación técnicas, se menciona cinco tipos de lechada "Grouting type" que fueron desarrollados para su aplicación en los túneles, para el presente informe se desarrollara en el grouting type A, el resto de diseños se mencionan a continuación: el groutig type B el cual está basado en microcemento, grouting type C el cual emplea el cemento aluminoso, y las mezclas químicas, grouting type D-E.

- Grouting- Type A

Se detalla los diferentes diseños de mezcla para un tipo de lechada según las especificaciones técnicas-Volumen C-3B cláusula 4.8.1, también se muestra diseños de mezcla bajo dos condiciones: en condiciones normales, y en condiciones de 48 ° C, esto último debido a que en otros túneles se encontró temperaturas altas en su interior.

- a. Los materiales usados son los siguientes:

- Cemento Pórtland Puzolánico Tipo IP .-

Cementos cuya adición viene a ser la puzolana la cual reacciona químicamente con la cal a temperatura ambiente y en presencia de humedad. Estas reacciones son lentas y continúan combinándose con el hidróxido de calcio que se libera con la hidratación del cemento. Al combinarse con el hidróxido de calcio, la puzolana forma nuevos compuestos estables y con poder cementante (silicatos y aluminatos de calcio), aumentando el volumen de pasta aglomerante, demostrando ser muy resistentes a la acción de todo tipo de aguas agresivas

- Microsilica (Silica Fumes).-

Es un aditivo en polvo este producto reacciona químicamente con el hidróxido de calcio en la pasta de cemento, lo cual produce un gel de hidrato de silicato de calcio que mejora significativamente la resistencia y durabilidad. Por su alta finura, la microsilica llena el vacío entre las partículas esto disminuye la permeabilidad del concreto.

- Aditivo superplastificante con retardo (Sika Viscocrete 1110).-

Es un aditivo con el cual se aumenta la cohesión esto debido a que reduce el contenido de agua, provoca una excelente fluidez mejorando también la plasticidad y disminuyendo la contracción plástica.

- Acelerador líquido libre de Alcalis (Sika Sigunit L-50 AF).-

Es un acelerante líquido libre de álcalis desarrollado en base a sustancias inorgánicas especiales, la cual tiene como finalidad incrementar significativamente el desarrollo de la resistencia inicial o acortar el tiempo de fraguado.

b. Diseño de mezclas

La relación agua/cemento incluye los componentes activos hidráulicos como los del cemento. Para este caso se ha considerado la microsilica en el contenido de cemento (agua / Cemento + Microsilica).

- Diseño bajo condiciones normales

Proporciones que correspondan a la relación de agua/cemento en condiciones normales

Cuadro N°4.5.- Diseño de Mezclas para Condiciones Normales

	Diseño de Mezclas				
	1	2	3	4	5
Relación A/C	1.20	1.00	0.82	0.65	0.50
SILICA FUMES	2.5%	2.0%	2.0%	2.0%	0.0%
Sika Viscocrete 1110	0.00%	0.25%	0.50%	1.00%	1.80%
Sigunit L50 AF	8.00%	8.00%	8.00%	8.00%	8.00%
Temperatura de diseño	19.5 °C	20.3 °C	20.5 °C	20.8 °C	21.4 °C
Viscosidad Marsh	36.2s	39.0s	41.0s	46.0s	48.0s
% Sangrado	2.60	2.30	2.02	2.12	2.10
Inicio de Fragua (hrs:min)	00:52	00:54	00:56	00:51	00:52
Final de Fragua (hrs:min)	03:06	03:02	03:12	03:05	03:08

Fuente: Reporte del departamento de calidad.

Cuadro N°4.6.- Diseño de Mezclas, Dosificación por Tanda

	Dosificación por tanda				
	1	2	3	4	5
Relación A/C	1.2	1	0.82	0.65	0.5
Cemento (kg)	42.5	42.5	42.5	42.5	42.5
Agua (Litros)	52.3	43.4	35.5	28.2	21.3
Silica FUMES (kg)	1.1	0.9	0.9	0.9	0.0
Sigunit L50 AF (ml)	2615.4	2615.4	2615.4	2615.4	2615.4
Sika Viscocrete 1110 (ml)		100	200	401	722

Fuente: Reporte del departamento de calidad.

- Considerando condiciones de temperatura de 48° C

Cuadro N°4.7.- Diseño de Mezclas, Bajo Condiciones de 48°C.

	Diseño de Mezclas			
	3	4	5	6
Relación A/C	0.82	0.65	0.50	0.30
SILICA FUMES	2.0%	2.0%	2.0%	0.0%
Sika Viscocrete 1110	0.50%	1.00%	1.80%	1.80%
Sigunit L50 AF	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
Temperatura de diseño	21.5 °C	21.8 °C	21.7 °C	21.6 °C
Temperatura indicada de agua	48.0 °C	48.0 °C	48.0 °C	48.0 °C
Tº de lechada en agua caliente	46.5 °C	47.2 °C	47.6 °C	47.4 °C
Viscosidad Marsh	33.0s	40.0s	52.0s	88.0s
% Sangrado	3.75	2.62	1.82	0.50
Inicio de Fragua (minutos)	04:51	04:32	03:53	03:22
Final de Fragua (minutos)	06:25	06:11	05:48	04:51

Fuente: Reporte del departamento de calidad.

Cuadro N°4.8.- Dosificación por Tanda, Bajo Condiciones de 48°C.

	Dosificación por tanda			
	1	2	3	4
Relación A/C	0.82	0.65	0.5	0.3
Cemento (kg)	42.5	42.5	42.5	42.5
Agua (Litros)	34.9	27.6	21.3	12.8
Silica FUMES (kg)	0.85	0.85	-	-
Sigunit L50 AF (ml)	-	-	-	-
Sika Viscocrete 1110 (ml)	200.5	400.9	721.7	721.7

Fuente: Reporte del departamento de calidad.

4.3 PROCEDIMIENTO DE INYECCIÓN E INSTRUCTIVO DE SEGURIDAD APLICADO EN EL PROYECTO CCH

Se desarrolló una guía general de procedimientos para ser utilizados, como una aclaración del capítulo 4, "Perforación exploratoria y de inyección", de las especificaciones técnicas, Las instrucciones inician con la perforación de sondeos de exploración para obtener información sobre las características geológicas y condiciones por delante de la cara del frente de trabajo y la decisión sobre si se debe o no realizar los trabajos de inyección se decidirá y diseñará por el Ingeniero, en coordinación con el Contratista durante la excavación.

4.3.1 Perforación Exploratoria en Túneles

Con el fin de investigar la masa de roca y para evaluar la cantidad de agua por delante de la cara, se llevará a cabo la perforación exploratoria cuando requiere. Dependiendo de las condiciones los sondeos de exploración serán de uno a

cuatro. La longitud típica de sondeos de exploración es de aproximadamente 20 m. La superposición o traslape entre rondas será de 6 a 12 m dependiendo de la calidad del macizo rocoso y del caudal de agua. Al término de cada sondeo, la cantidad de agua subterránea será medido.

Se presenta los siguientes criterios, como parte del procedimiento, aplicados en la excavación del túnel de conducción:

1. Calidad de Macizo rocoso A1, A2 y A3 (muy buena a regular) sin fugas de agua observado en la cara y/o durante la perforación de la ronda de excavaciones siguientes (condiciones secas). Ocasionalmente pueden ser instruidos sondeos de exploración por parte de la supervisión.
2. Calidad de Macizo rocoso A1, A2 y A3 (muy buena a regular), con fugas de agua observados en la cara o durante perforación de la próxima ronda de voladura. Se realizaran dos taladros de exploración perforados en el frontón, sistemáticamente con una longitud mínima de 6 metros. Si el caudal de agua filtrada de los dos taladros en conjunto es inferior a 20 l / min, la excavación continúa. Si las fugas totales son mayores de 20 l / min, se evaluara si se realiza alguna investigación adicional o se procede con la inyección.
3. Calidad del macizo rocoso A4 y A5 (pobres y pobres extremos), con o sin fugas de agua observado. Se realizaran dos taladros de exploración perforados en el frontón de excavación de forma sistemática, con una longitud mínima de 10 metros. Si la pérdida total de dos agujeros en conjunto es inferior a 20 l / min, la excavación continúa. Si el caudal de agua filtrada de los dos taladros en conjunto es inferior a 20 l / min, la excavación continúa. Si las fugas totales son mayores de 20 l / min, se evaluara si se realiza alguna investigación adicional o se procede con la inyección.

Las mediciones de la presión del agua in situ se realizaran cuando la conductividad es alta, la presión del agua se puede medir simplemente al cerrar un taladro colocando un manómetro.

4.3.2 Perforación de Taladros para Inyección

La perforación de los taladros de inyección en el túnel, se llevarán a cabo según el plano C 401, anexo E: La figura 4.1 es un esquema simplificado de pre-inyección.

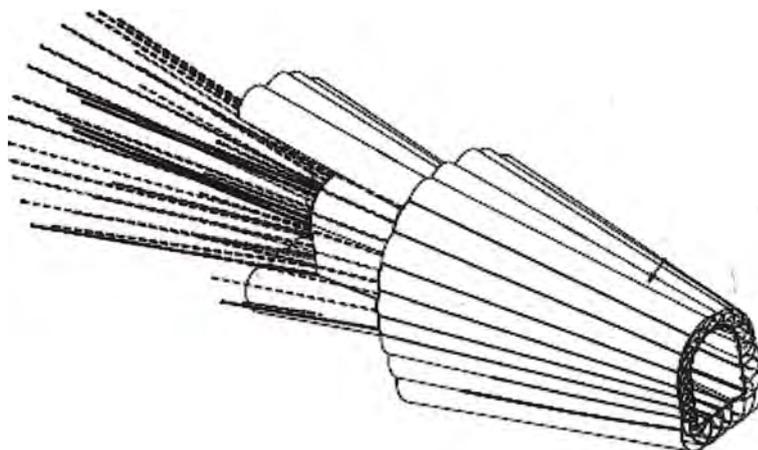


Figura N°4.1.- Esquema de Paraguas de Inyección.

Si toda el agua proviene de un taladro con una fuga menor o igual a 25 l / min, y "0" fuga del otro taladro, la inyección se llevará a cabo en el único agujero con las fugas de agua. Si la pérdida total es de más de 25 litros / min de una ronda completa de inyección, se realizarán nuevos taladros con una separación entre perforaciones de 1,5 a 2 m. La longitud de sondeo se evaluará in situ, éstas están comprendidas entre 15 a 21m.

4.3.3 Aplicación de Inyección

Se empleará los materiales indicados, en el diseño de mezcla. Para el caso en que se presenten grandes aperturas en el macizo rocoso se puede reducir el acelerante. La inyección se inicia en el taladro con mayor afluencia de agua en la solera o parte baja del túnel y se continuará inyectando hacia arriba.

1. Para los taladros con caudales de agua por encima de 50 litros / minuto, la lechada se inicia con una relación agua-cemento (w / c) de 1,0 para el primer lote (de 250 kg).
2. Si no se consigue un aumento de presión significativa, la relación agua-cemento w / c se reducirá a 0,5.

3. Si no se logra una presión significativa después de 1250 kg, se reducirá la relación agua-cemento a $w / c = 0,45$. El uso del súper plastificante es obligatoria para conseguir la viscosidad requerida. El acelerante puede añadirse para obtener la acumulación de presión. La inyección de lechada en el taladro se terminará después de una toma máxima de 2.000 kg de cemento.

4. Para taladros con un caudal menor de 50 l / min, el primer lote (250 kg) comienza con una relación $w / c = 1,2$. Si hay acumulación de presión, la relación w / c para el próximo lote será de 0,75, y para el tercer lote de 0,5.

5. Si la acumulación de presión se inicia en uno de los pasos anteriores, la inyección continúa con la misma relación agua-cemento para el siguiente lote. Si la cantidad es superior a 1250 kg, el uso del acelerador y/o el paso 3 para terminar la inyección del taladro.

La presión de cierre de inyección se hará de acuerdo con lo siguiente: En general, con el establecimiento del packer en la roca la presión estará entre los 60 - 100 bar. La presión de inyección se ajustará a las condiciones locales y a la presión de las aguas subterráneas. El tiempo de fraguado de la inyección será de mínimo 4 horas.

4.3.4 Instructivo de Seguridad

- Peligros Principales de la Operación
 - Lesiones en la vista por falta de uso de lentes.
 - Lesiones a la piel por falta de guantes, otras prendas de protección , ya que se está en contacto con sustancias químicas.
 - Golpes, contusiones por caídas al mismo nivel.
 - Contusiones, fracturas y muertes por caídas a distinto nivel durante los trabajos de inyección en altura.
 - Lesiones músculo-esqueléticas por trabajos en posturas forzadas.
 - Lesiones en relación del mal uso o descuido por uso de las bombas.
 - Packers mal instalados , saliendo por la presión de inyección.

- **Personas Participantes**
 - Solo personal debidamente capacitado y entrenado podrá realizar los trabajos, además deberá haber recibido una capacitación específica a cargo del jefe de área, sobre los trabajos de inyección de cemento a alta presión.
 - Ingeniero de área, supervisor, capataz, jefe de guardia que autorice el inicio de las labores
- **EPP'S necesarios**
 - Protección auditiva las cuales pueden ser tapones y orejeras, lentes claros de seguridad, casco de seguridad, guantes de jebe, uniformes descartables, botas de seguridad con punta de acero, respirador con filtro de vapores orgánicos y partículas P-100.
- **Preparación del Lugar de Trabajo**
 - Se tiene que inspeccionar el área de trabajo antes del inicio de las labores para evitar o reducir cualquier riesgo al trabajar, manteniendo el orden y la limpieza en el área.
 - Colocación de lavajos, en caso de proyección de lechada.
 - Colocación de iluminación a cargo del eléctrico de turno (mínimo de 200 lux)
 - Verificar y retirar todas las clases de material innecesario del área.
- **Equipos y accesorios**
 - Bomba de inyección de alta presión, en perfecto estado de utilización, conforme a mantenimiento establecido por el fabricante o departamento de planta.
 - Equipo telehändler para la colocación de packer u obturadores en perfecto estado de utilización, conforme al mantenimiento establecido por el fabricante o departamento de planta.
 - Extensiones eléctricas que deberán tener la revisión mensual de herramientas manuales y eléctricas.

- Llaves stilson y mixtas que deberán tener la revisión mensual de herramientas manuales y eléctricas
- Extinguidor de CO_2 , en regla.
- Acciones a realizar
 - El procedimiento deberá ser comunicado a los trabajadores. Los nuevos trabajadores deberán recibir capacitación suficiente sobre el trabajo y los peligros de la inyección antes de empezar su labor.
 - La evaluación del soporte de roca es necesaria antes de empezar el trabajo de inyección informar a los geólogos sobre el trabajo de inyección. Evaluar con respecto a la presión de inyección el área detrás de la zona de inyección debe ser también evaluada. Debido a la alta presión de trabajo hay inestabilidad potencial.
 - Organizar el área alrededor de la bomba, en particular el área entre acopio de bolsas de cemento y la bomba.
 - No situarse en la línea del packer cuando se va a inyectar. colocarse a los laterales del packer con el uso debido del equipo de protección personal.
 - Colocación del packer y línea de inyección a los diferentes taladros. Comprobar que las conexiones estén aseguradas.
 - Realizar una prueba con agua para comprobar que el sistema esté operativo. En la prueba con agua se deben utilizar los equipos de protección personal para poder comprobar cualquier desperfecto que presente el sistema de inyección.
 - En la preparación de la mezcla se debe contar con el overol descartable, correctamente colocado con las mangas hasta las muñecas, los guantes de jebe por fuera de las mangas del overol y el respirador colocado.
 - Al iniciar la inyección todo el personal involucrado debe contar con su equipo de protección personal y pendiente de cualquier eventualidad
 - Realizar la liberación de presión del sistema antes de cambiar de un taladro a otro. Para la liberación de presión del sistema se deben de

quitar de la línea de salida de la mezcla a cualquier persona que se encuentre en dicha línea.

- Limpieza del sistema una vez terminada la inyección. La limpieza del sistema es la parte más importante de la inyección, porque garantiza que el equipo quede operativo para otra futura inyección no se deben de quitar el equipo de protección personal hasta que no se haya abandonado el sitio de inyección.
- Es necesario que el packer cuente con un dispositivo de seguridad. enganchar cada packer con un elemento que impida su proyección.
- Definición de zona de seguridad. Si el packer se suelta, es potencialmente fatal si alguien está en línea de trayectoria. La zona segura donde nadie deberá entrar será de 15-20 metros de la operación.

4.4 INYECCIONES EN EL TÚNEL TRAMO 0+916.0 A 0+954.0

El tramo de aplicación de las inyecciones, se inicio a partir de la progresiva 0+916.0, cabe indicar que el frente se encontraba en la progresiva 0+921.6 en este punto se detuvo la excavación del frente, en el ciclo de perforación de frontón. Se contó con el siguiente esquema de bombeo.

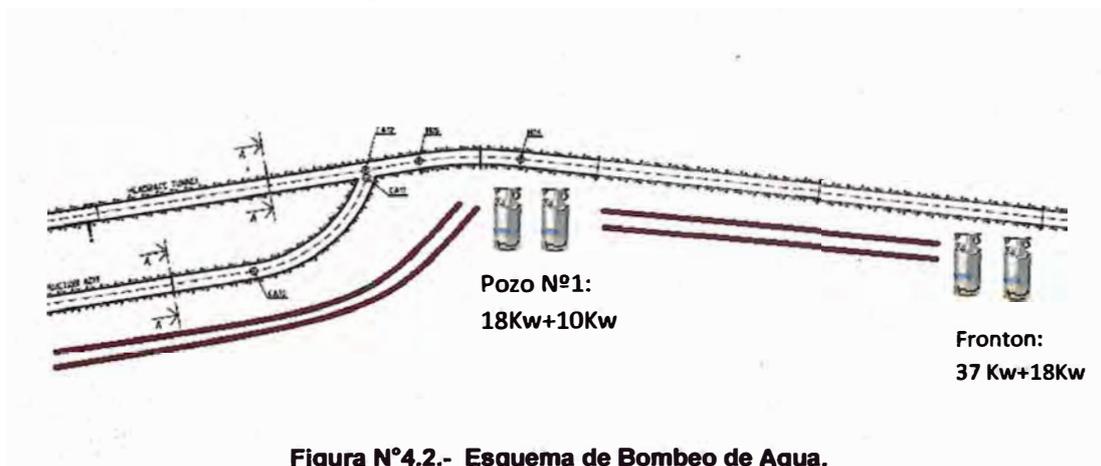


Figura N°4.2.- Esquema de Bombeo de Agua.

El pozo 1 se ubica en la progresiva 0+260.0, se tienen dos líneas de tuberías de 6" las cuales trasladan el agua hacia la poza de sedimentación, ubicada a exteriores del túnel de conducción. Se decide conjuntamente con la supervisión realizar taladros de sondeo para inyección de 15 metros de longitud, con un ángulo de 35° con respecto al eje del túnel en el perímetro del túnel como se aprecia en el plano C 401, anexo E y con un diámetro de 64mm en la progresiva

0+916.0, esto debido a que el frontón se encontraba perforado con los taladros de producción. Se realizan los siguientes taladros de sondeos, ver figura N°4.3:

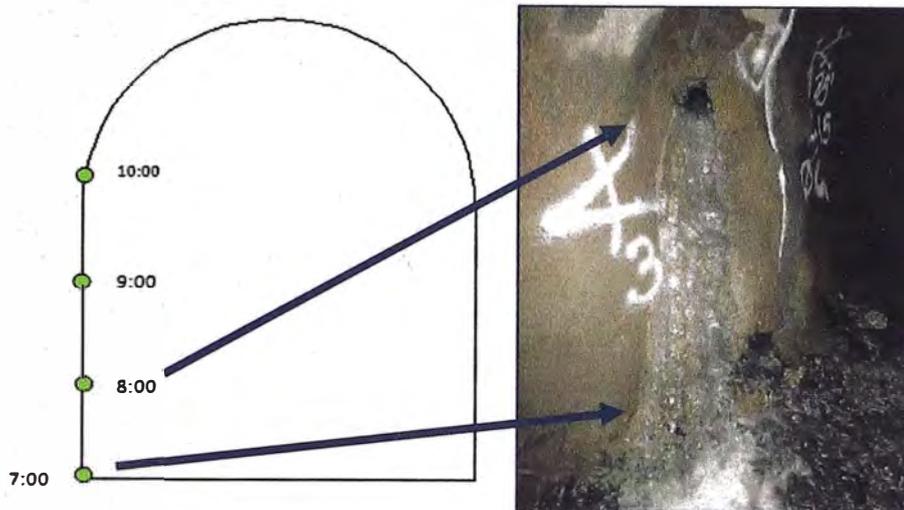


Figura N°4.3.- Esquema de Sondeos, Progresiva 0+916.0

Cuadro N°4.9- Resultado de Sondaje en Progresiva 0+916.0

Taladro en zona horaria:	Caudal de Agua l/min	Presencia de agua a los:
7:00	120	11m
8:00	218	11m
9:00	208	11m
10:0	80	14m

Fuente: Elaboración propia.

Los trabajos de inyección se realizan bajo los procedimientos mencionados de inyección y del instructivo de seguridad, para esta progresiva se coordinó en perforar cuatro sondeos y luego inyectar, esto con el objetivo de mantener un caudal de filtración que no supere la capacidad de las bombas, por lo tanto se procedió con la inyección del sondeo de la zona horaria 8:00 esto debido a que se presentaba comunicación del sondeo 8:00 al sondeo de la zona 7:00. La inyección de este sondeo llegó a una presión de 1000 Kpa y un consumo de 255 kg de cemento y se detuvo debido a la presencia de fisuras en el hastial izquierdo del túnel, como se muestra en la figura 4.4.



Figura N°4.4.- Shotcrete con Fisuras. Fotografía Tomada en Hastial Izquierdo.

La zona dañada se reparó retirando el shotcrete e instalando 4 pernos de anclaje con resina. La inyección continúa y se procede con inyectar el taladro de zona horaria 7:00. Se presenta el siguiente cuadro N°4.10 de resumen.

Cuadro N°4.10- Datos Obtenidos de la Inyección,0+916

Taladro	Presión de lechada	Cemento Kg	Comentario
15m	7700 Kpa	1530	Se realizó la inyección en dos partes en la 1era etapa se inyectaron 255 Kg de cemento con a/c=1 y en la 2da etapa se inyectaron 1275Kg de cemento con la relación a/c=0.5

Fuente: Elaboración propia.

Se procedió con la reinyección del taladro de zona 8:00, la lechada se comunico con el sondeo de zona 9:00, por lo cual se procedió con instalar un packer y continuar inyectando desde el sondeo de zona 8:00. Se presenta el siguiente cuadro N° 4.11 de resumen.

Cuadro N°4.11- Datos Obtenidos de la Reinyección 0+916.0

Taladro	Presión de lechada	Cemento Kg	Comentario
15m	1970 Kpa	1785	Se realizó la inyección en dos partes en la 1era etapa se inyectaron 425 Kg de cemento con a/c=1 y en la 2da etapa se inyectaron 1360 Kg de cemento con la relación a/c=0.5 Volumen de lechada 1649 litros.

Fuente: Elaboración propia.

Después de terminar de inyectar los sondeos de la progresiva 0+916.0, se decide realizar sondajes de inyección en la progresiva 0+921.70, de 18 metros de longitud con un diámetro de 64mm, como se aprecia en la figura N°4.5, en el cuadro N° 4.12 se presenta en resumen los datos de la inyección.

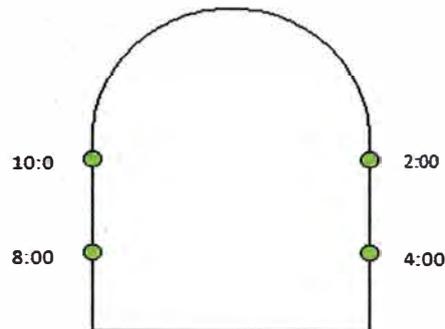


Figura N°4.5.- Esquema de Sondaje en la Progresiva 0+921.70

Cuadro N°4.12- Datos Obtenidos del Sondaje, 0+921.70

Taladro en zona horaria	Caudal de Agua l/min	Presencia de agua a los:
4:00	400	4m
2:00	240	10m
8:00	80	7m
10:00	380	7m

Fuente: Elaboración propia.

La inyección en esta progresiva tuvo muchas complicaciones debido a que la lechada se comunicaba con los taladros de producción por lo tanto se decidió inyectar los mismos taladros de producción, como se muestra en al siguiente figura N°4.6.

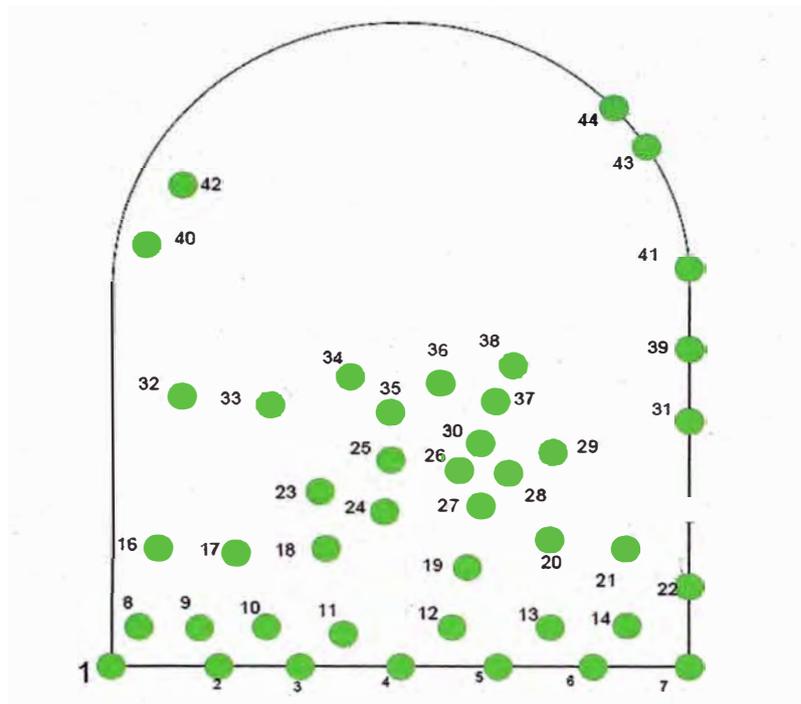


Figura N°4.6.- Esquema de Taladros de Producción en la Progresiva 0+921.70

La inyección se realizó en los taladros número 22, 8, 20 y 21, llegando a un consumo de 1912.5 kg de cemento.

Debido a lo complicado que resulta controlar la lechada por sus comunicaciones se decide, completar la ronda de sondeos de inyección en la progresiva 0+916.0, como se muestra en la siguiente figura N°4.7, en el cuadro N°4.13 se presenta el resumen de la inyección.

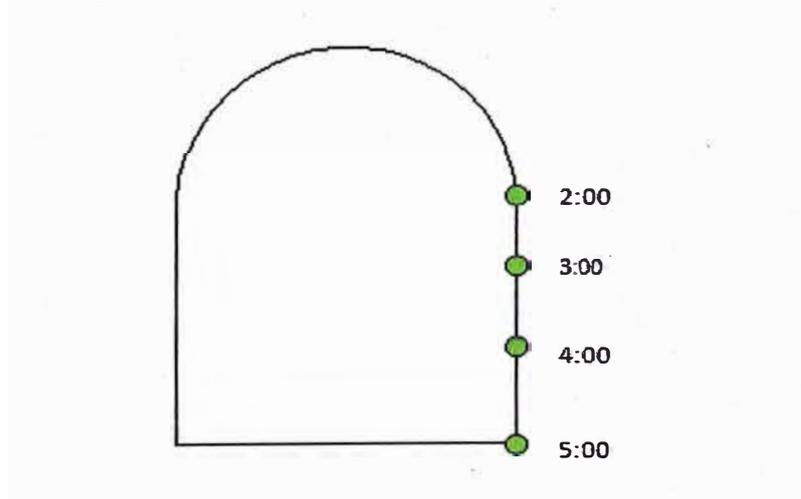


Figura N°4.7.- Esquema de Sondaje en la Progresiva 0+916.0, Hastial Derecho.

Cuadro N°4.13- Datos Obtenidos del Sondaje, 0+916.0 Hastial Derecho

Taladro en zona horaria:	Caudal de Agua l/min	Presencia de agua a los:
5:00	300	7m aprox.
4:00	500	7m aprox.
3:00	300	7m aprox.
2:00	200 aprox.	7m aprox.

Fuente: Elaboración propia.

Se continuo con las inyecciones y éstas se realizaron en el sondeo de la zona horaria 9:00 con un consumo de 595kg de cemento y se detuvo por la comunicación de la lechada por fracturas y taladros. Se procedió a inyectar los taladros de la zona horaria 5:00 y 4:00 respectivamente, con un consumo total de 12 125 kg de cemento llegando a una presión de 4200 Kpa.

Se presenta el siguiente cuadro N°4.14, que informa el consumo y las presiones de la inyección:

Cuadro N°4.14- Resumen de Inyección y Sondeos en las Progresivas 0+916 y 0+921.7

Progresiva	Caudal de agua filtrada (l/min)	Longitud del sondeo (m)	Numero de sondeos	Longitud total de perforación (m)	Presión de inyección (Kpa)	Consumo de cemento (kg)
0+916.0	336.8	18	10	180	1100-3200	25440
0+921.7		18	16	288	1600-3000	14110

Fuente: Elaboración propia.

El caudal de agua disminuye a un volumen menor de 20 l/min con lo cual se procede a los siguientes avances, cuadro N° 4.15.

Cuadro N°4.15.- Avances de Excavación 0+921.70 - 0+931.30

Tipo de Roca	Progresiva de Inicio	Progresiva de Avance	Avance
A3	0+921.70	0+924.60	2.9
A3	0+924.60	0+927.60	3
A3	0+927.60	0+931.30	3.7
A3	0+931.30	0+934.80	3.5

Fuente: Elaboración propia.

Cumpliendo el procedimiento se realiza el sondeo de exploración, se realizaron dos taladros de exploración en los cuales se encontró un total de caudal de agua de 18 litros /minutos, la longitud de perforación es de 21m y el agua de filtración se encontró a los 20 metros de la exploración por lo tanto se decidió continuar con el avance de producción, se muestra en el cuadro N°4.16, los avances que se realizaron.

Cuadro N°4.16.- Avances de Excavación 0+934.80 - 0+954.20

Tipo de Roca	Progresiva de Inicio	Progresiva de Avance	Avance (m)
A3	0+934.80	0+938.10	3.3
A3	0+938.10	0+941.30	3.2
A3	0+941.30	0+944.60	3.3
A3	0+944.60	0+947.65	3.05
A3	0+947.65	0+950.70	3.05
A2	0+950.70	0+954.20	3.5

Fuente: Elaboración propia.

En la progresiva 0+954.20 el caudal de filtración es de 80 litros/ minuto superando el limite permisible de 20 litros por minuto, usando el diseño de mezcla y procedimientos de inyecciones , se presenta el siguiente cuadro N°4.17 de resumen:

Cuadro N°4.17.- Resumen de Inyecciones en la Progresiva 0+954.0

Progresiva	Caudal de agua filtrada (l/min)	Longitud del sondeo (m)	Numero de sondeos	Longitud total de perforación (m)	Presión de Inyección (Kpa)	Consumo de cemento (kg)
0+954.0	336.8	21	10	210	1000-5300	18240

Fuente: Elaboración propia.

Se presenta la siguiente grafica, en las cual se representan los cambios de presiones, por volumen de lechada aplicada esta información se obtuvo del equipo de medición de la bomba de inyección.

Cuadro N°4.18.- Resumen de Inyección del Sondeo Zona Horaria 08:00-0+916.0

Progresiva 0+916.0				
Zona de taladro	Diseño de lechada a/c	Consumo de cemento (Kg)	Inicio de inyección (horas)	Fin de inyección (horas)
08:00	1	425	21:15	22:10
08:00	0.5	1360	22:10	00:30

Fuente: Elaboración propia.

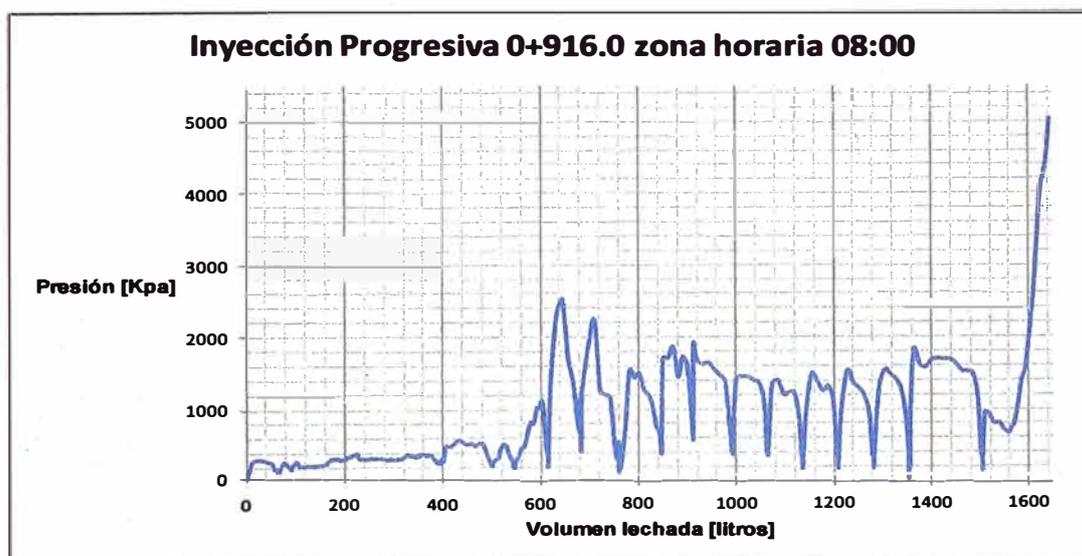


Figura N°4.8.- Grafica de Presión de Inyección vs Volumen de Lechada PK: 0+916.0, Zona Horaria 08:00

Cuadro N°4.19.- Resumen de Inyección, del Sondeo Zona Horaria 04:00

Progresiva 0+916.0				
Zona de taladro	Diseño de lechada w/c	Consumo de cemento (Kg)	Inicio de inyección (horas)	Fin de inyección (horas)
04:00	0.5	112	15:25	15:58

Fuente: Elaboración propia.

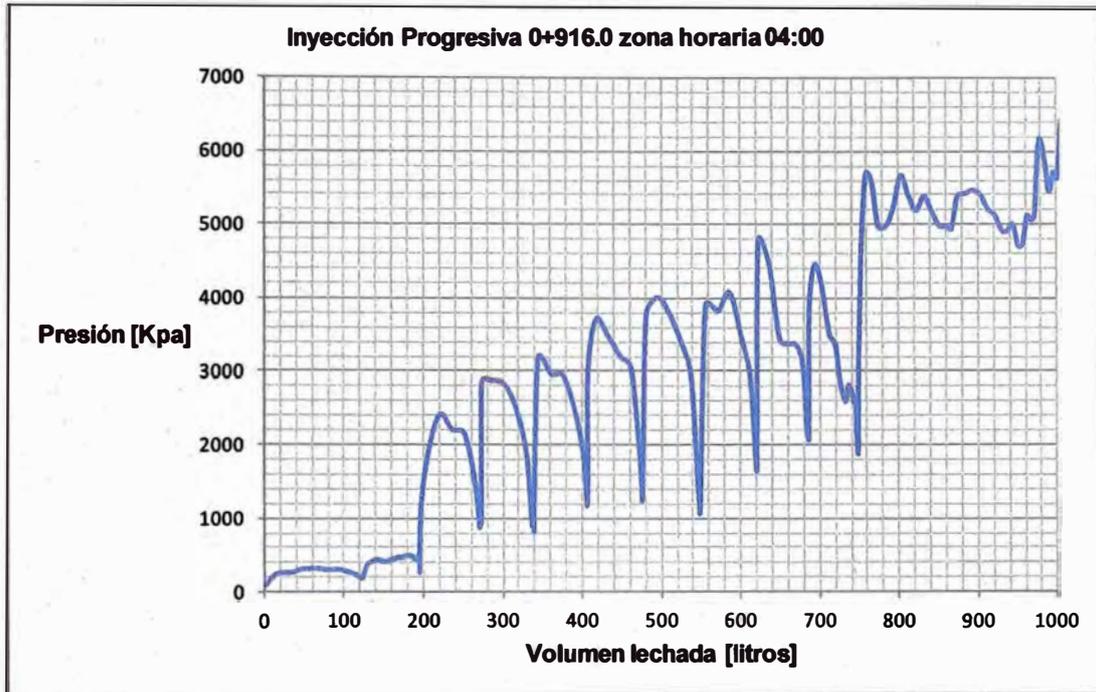


Figura N°4.9.- Grafica de Presión de Inyección vs Volumen de Lechada PK: 0+916.0, Zona Horaria 04:00

El termino de las inyecciones se pueden apreciar muestran en las siguientes figuras:



Figura N°4.10.- Taladro Zona Horaria 08:00, Progresiva 0+916.0, al término de las Inyecciones.



Figura N°4.11.- Taladro Zona Horaria 04:00, Progresiva 0+916.0, después de las Inyecciones.

Cuadro N°4.20.- Resumen de Inyección, del Sondeo Zona Horaria 09:00

Progresiva 0+916.0				
Zona de taladro	Diseño de lechada a/c	Consumo de cemento (Kg)	Inicio de Inyección (hora)	Fin de Inyección (hora)
09:00	0.5	1360	15:25	15:58

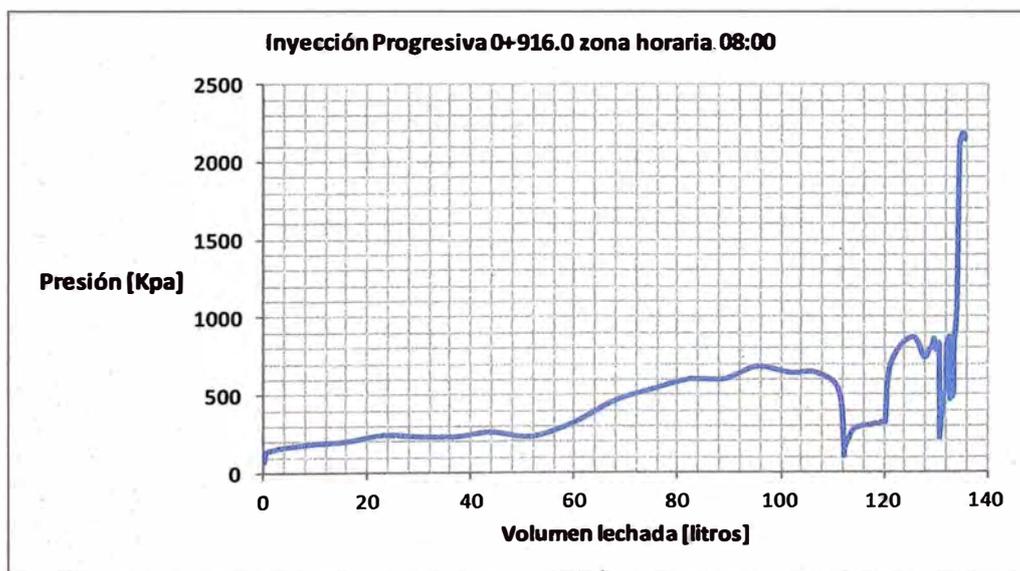


Figura N°4.12.- Grafica de Presión de Inyección vs Volumen de Lechada PK: 0+916.0, Zona Horaria 09:00



Figura N°4.13.- Taladro Zona Horaria 09:00, Progresiva 0+916.0, después de las Inyecciones.

4.4.1 Dificultades Durante la Inyección

En la aplicación de inyecciones hay múltiples problemas. La mayoría se relacionan con la instalación de los obturadores, este problema se presenta cuando el sondeo se encuentra con material suelto bloqueando la instalación del packer, en el peor de los casos es necesario emplear anclajes especiales o en el peor de los casos el obturador se puede quedar atorado evitando su retiro. En otras ocasiones puede ser suficiente realizar una limpieza del taladro con agua a presión, en el caso de las inyecciones realizadas se perdieron tres obturadores quedándose en sus respectivos taladros de sondeos.

Durante el proceso de inyección en el macizo rocoso, otro problema que se presenta es el reflujó y comunicación de la lechada hacia fisuras taladros de servicios, estos pueden ser taladros para servicios eléctricos o de tuberías de agua, por lo tanto estos deben ser taponeados antes que se continúe con la inyección del macizo, esto también se presentó en las inyecciones del túnel de conducción la lechada se comunicó con fisuras de los hastiales y la presión fisura el shotcrete teniendo que ser desquinchado para resostener antes de continuar con las inyecciones. Otro problema que se presenta es con las válvulas y accesorios de la bomba de inyección al emplear el acelerante y presentarse un problema mencionado anteriormente es necesario detener la inyección mientras se soluciona, esto puede provocar un fraguado inicial en las instalaciones o tuberías del equipo, con lo cual puede quedarse obstruido, esto

se presentó en las inyecciones del túnel de conducción dañándose el equipo medidor.

4.4.2 Efectos de la Inyección

Es importante tener presente de que para este caso la inyección no tenía como objetivo tener un 100% de impermeabilización, el objetivo era el control del agua y en el menor tiempo posible, la naturaleza variada de un macizo rocoso, principalmente por el hecho de que las características de filtración a lo largo de las discontinuidades son heterogéneas, hacen imposible, incluso bajo condiciones controladas, predecir el resultado de una operación de inyección.

Los efectos de la mejora de las propiedades de estabilidad del macizo rocoso mediante la inyección son a menudo un efecto colateral de la reducción del flujo de agua a través del macizo rocoso hacia el contorno del túnel.

CAPITULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CONCLUSIONES

- 1. El presente informe de suficiencia tuvo como objetivo principal, mostrar la aplicación de la técnica de inyecciones en el túnel de conducción del proyecto Cheves, para reducir la afluencia de agua.**
- 2. Para mostrar la aplicación se presenta el caso de la sección del túnel que abarca la progresiva 0+916. a 0+954.0, en esta sección de túnel se presentó la situación de infiltración de agua en el frente de excavación y en el contorno del túnel, este flujo de agua se produce a lo largo de superficies o canales internos en el macizo rocoso. Primero se realizó un estudio de las características y clasificación geomecánica del macizo, donde se pudo observar las condiciones del terreno para la aplicación de la técnica.**
- 3. De la información obtenida en el campo un factor importante es el estudio de las discontinuidades, entre estas discontinuidades el material rocoso es prácticamente impermeable para el agua y la lechada, por lo tanto las filtraciones y la penetrabilidad de la lechada están condicionadas a las propiedades de las discontinuidades del macizo rocoso. De los datos obtenidos se tiene que el macizo rocoso se presenta favorable para la inyección al presentar aperturas entre 0.5mm a 1mm.**
- 4. La calidad del agua de filtración, de acuerdo a los ensayos que se efectuaron, teniendo como base los parámetros de la norma BS EN 1008:2002, se encuentra dentro de lo permitido.**
- 5. Se presenta el diseño de lechada, grouting Type-A , el cual tiene como componente base al cemento Pórtland puzolanico tipo IP, este diseño se realizó bajo condiciones de temperaturas normales y a temperaturas de 48°C, y la aplicación en el túnel solo se hizo bajo a temperaturas normales.**
- 6. En el caso de la aplicación de inyecciones en el túnel de conducción, empleando el diseño Grouting Type-A, bajo los procedimientos mencionados, se consiguió una reducción significativa de la afluencia de**

agua en un porcentaje de filtración controlable, permitiendo y facilitando el avance de la excavación.

7. De las inyecciones aplicadas en el túnel, un aspecto importante es la presión de inyección y como se menciona en el capítulo III existen dos tendencias sobre las presiones de inyección; en las inyecciones aplicadas en el túnel de conducción la información obtenida del medidor de la bomba de inyección, los taladros inyectados a presiones altas tuvieron un mejor rendimiento, como se observa en las figuras N°4.10 y N°4.11 del capítulo IV de los sondeos sin presencia de agua mientras que el sondeo inyectado a presión de 2500 Kpa, aun mantiene agua de filtración aunque en el rango permitido.
8. A menudo un efecto colateral de la reducción del flujo de agua es la mejora de las propiedades de estabilidad del macizo rocoso, esto se origina por el relleno de las discontinuidades con lechada de cemento, mejorando su resistencia al corte, al sustituir el material débil por la lechada más resistente. Cabe resaltar que la impermeabilización es del tipo primario, con el objetivo principal de facilitar el avance del túnel.
9. Entre los factores que inciden negativamente en el proceso de inyección, se puede mencionar que para controlar las fugas de lechada, se debe realizar una vigilancia de la inyección y ésta se debe realizar teniendo en cuenta los procedimientos del instructivo de seguridad. Lo recomendable es intentar taponear estas fisuras, deteniendo la inyección por medida de seguridad, este problema se dio en la inyección del túnel, donde se presentaron diversas fugas retrasando el proceso de inyección.
10. La comunicación entre sondeos y taladros cercanos dentro del proceso de inyección, es importante tener un control estricto de las comunicaciones entre sondeos, esto debido a que puede alterar el orden de las inyecciones. En el tramo de estudio se tuvo muchos problemas con la comunicación de la lechada debido a que el frente se encontraba perforado con los taladros de producción los cuales eran en total 44 taladros de 4 metros, esto provocó muchas fugas en el frontón y el control de las fugas retardó la inyección, pero esto se controló instalando obturadores y taponeando todo taladro que presentaba fugas.

- 11. Teniendo en cuenta los problemas mencionados como las fugas y comunicaciones, es conveniente evitar tener taladros adyacentes al área de inyección, y para taponear fisuras es conveniente aplicar una pequeña capa de shotcrete en la cara misma de inyección para evitar fugas.**
- 12. El tener interrupciones para de inyección de manera continua, incide en el equipo de bombeo, los accesorios, tuberías y válvulas que pueden quedarse taponeadas por la lechada por lo que es necesario realizar un lavado del equipo si la interrupción de la inyección es prolongada.**
- 13. Una desventaja bien marcada, es que por las características de filtración a lo largo de las discontinuidades siendo estas heterogéneas, hacen imposible, aun bajo condiciones controladas, predecir el resultado final de una operación de inyección.**

RECOMENDACIONES

1. Realizar un seguimiento de las variaciones locales de la distribución de las fisuras o tamaños de los granos con el fin de valorar la inyectabilidad del terreno o realizar cambios en el tipo de cemento.
2. Evaluar las rondas o secuencias de excavación apoyándose en los sondeos de exploración al finalizar un ciclo de inyección, observar si hay presencia de agua y lo más importante definir a que profundidad se inicia las filtraciones y buscar un mayor rendimiento en el ciclo de inyección.
3. Evaluar en cada momento los procedimientos de inyección, así como también las mezclas, procurando que se adapten a las nuevas condiciones del terreno, como es el caso del túnel de conducción al presentar temperaturas de 35 °C.
4. Realizar un seguimiento del comportamiento de la inyección en función a las presiones de inyección. Las presiones altas aplicadas en el frontón pueden tener mejor rendimiento que en los hastiales del túnel, como se observó en el túnel de conducción las presiones de inyección dañaron el sostenimiento de un hastial.

BIBLIOGRAFÍA

1. Bielza Feliú Ana, "Manual de Técnicas de Tratamiento del Terreno", Madrid, 1999.
2. Gavilanes Hemán J. Andrade; Haro Byron, "Introducción a la ingeniería de túneles caracterización, clasificación y análisis geomecánico de macizos rocosos", , Asociación de Ingenieros de Minas del Ecuador (A.I.M.E) , Quito- Ecuador 2004.
3. Gonzales de Vallejo, Luis I, Mercedes Ferrer, Luis Ortuño, Carlos Oteo, "Ingeniería geológica", Madrid 2002.
4. López Jimeno, Carlos, "Ingeo Túneles libro1", Madrid, 2006.
5. López Jimeno, Carlos, "Ingeo Túneles libro 6", Madrid, 2003.
6. López Jimeno, Carlos, "Ingeniería de túneles", tercera edición, Madrid,2003.
7. López Jimeno, Carlos, "Manual de sondeos aplicaciones", Madrid, 2001.
8. López Jimeno, Carlos, "Manual de túneles y obras subterráneas", Madrid, 2000.
9. EOBBING E.J (1973).Geología de los cuadrángulos de Barranca, Ambar, Oyon, Huacho, Huaral y Canta. Ingemmet. Boletín N° 26. Serie A. Lima.

ANEXO A: SONDAJE DIAMANTINO DDH-CHCH-TA-PE

Cuadro N°1.- Sondaje diamantino DDH-CHCH-TA-PE

TRAMOS (m)		RMR	Q	DESCRIPCIÓN
0	19	24	0.1	Suelo aluvional con fragmentos angulosos envueltos en una matriz limo-arenosa y fragmentos sub. angulosos aplanados
18.6	21			
21	25	58	5	Cuarcita gris blanquecina con venillas de silice, bandeamiento bituminoso, sus fracturas están levemente alteradas
25.16	34	44	1	Roca bituminosa de textura fluida, de grano muy fino con presencia de pirita y óxidos en las paredes de las fracturas.
33.85	40	58	5	
40.24	44	58	5	Cuarcita gris blanquecina con presencia de venillas de cuarzo y bandas de bitumen.
43.93	49	44	1	Fracturas alteradas a muy alteradas con presencia de óxidos en sus paredes
48.61	56	58	5	
56.18	59	30	0.2	Cuarcita gris blanquecina, con un tramo de roca bituminosa, su grado de fracturamiento está entre muy fracturada e intensamente fracturada, con presencia de óxidos en las paredes.
59.45	63	30	0.2	Grafito intensamente fracturado, fracturas moderadamente alteradas.
63	66	58	5	Cuarcita gris blanquecina, con venillas de cuarzo. Presenta fracturas moderadamente alteradas, con presencia de óxidos en sus paredes
66.34	85	17	0.1	Cuarcita gris de grano fino, con secuencias de grafito. Presenta fracturas levemente alteradas, con presencia de óxidos y carbonatos en sus paredes. Presenta estrías en algunas paredes de las fracturas, con venillas de cuarzo
85	90	30	0.2	Cuarcita gris blanquecina con venillas de cuarzo, roca intensamente fracturada, moderadamente alterada, con presencia de óxidos en las paredes de las fracturas.
90.4	99	30	0.2	Cuarcita de color gris oscuro a gris blanquesino levemente alterada, con venillas de cuarzo, presenta oxidos y arcillas en las paredes de sus fracturas.
98.65	105	30	0.2	Cuarcita gris blanquecina, con fracturas cerradas estas presenta relleno de silice, sericita, diseminaciones de pirita y presencia de óxidos en las paredes de las fracturas.

TRAMOS (m)		RMR	Q	DESCRIPCIÓN
105.15	110	58	5	Capa de grafito de grano muy fino de texturalidad fluida, su grado de fracturamiento va de levemente fracturada a muy fracturada, las fracturas son frescas, en algunos casos están rellenas con carbonatos, sus paredes presentan oxidación.
110.45	113	58	5	Cuarcita gris blanquecina con fracturas cerradas, rellenas de sílice, presenta oxidación en las paredes de las fracturas.
112.7	114	44	1	
113.6	117	44	1	Capa de grafito de grano muy fino, de color gris negruzco, de textura fluida. Sus fracturas son frescas, en algunas fracturas se observa relleno de carbonato, y oxidación en sus paredes.
116.7	120	58	5	
119.8	123	30	0.2	
123.3	124	30	0.2	Roca gris blanquecina con fracturas cerradas a ligeramente abiertas, con venillas de sílice. Presenta un ligero bandeamiento de laminas de grafito.
124.3	127	58	5	
126.9	128	58	5	Grafito de grano muy fino, textura fluida, con fracturas frescas y en algunas se presentan oxidación y carbonatos en sus paredes.
128.35	130	58	5	Intercalaciones de cuarcitas grises con capas de grafito, presenta una textura bandeada. Roca muy fracturada a fracturada, con paredes frescas y otras con oxidación y carbonatos.
129.76	138	38	0.5	
137.65	139	44	1	
139.15	145	44	1	Cuarcita gris blanquecino, con fracturas cerradas a ligeramente abiertas, rellenas de sílice. Sus fracturas presentan paredes frescas y algunas con oxidación
145.33	148	30	0.2	
147.95	154	30	0.2	Cuarcita intensamente fracturada, presenta algunas fracturas con estriaciones que indicarían zonas de posible de falla
154.22	158	30	0.2	Intercalación de cuarcita y mantos de grafito, con textura bandeada. Sus fracturas están cerradas a moderadamente abiertas, rellenas de óxidos y carbonatos.
157.88	158	65	10	

TRAMOS (m)		RMR	Q	DESCRIPCIÓN
158.37	165	65	10	Cuarcita gris blanquecina de levemente fracturada a fracturada. Sus fracturas están cerradas a ligeramente abiertas, con presencia de oxidación en las paredes. Se presentan venillas de sílice y oquedades rellenas también de sílice.
165.15	170	44	1	
169.61	173	44	1	Capa de grafito fracturada, con fracturas cerradas a ligeramente abiertas, con relleno de óxidos y carbonatos. Presenta venillas de cuarzo.
173.07	180	58	1	Cuarcita gris blanquecina, con un grado de fracturamiento de levemente fracturada a fracturada, sus fracturas están cerradas a ligeramente abiertas, rellenas con óxidos, sulfuros y carbonatos.
180.17	185	30	0.2	Intercalación de cuarcitas grises y grafito. Se presenta una posible zona de falla entre 184.89 - 188.6 m con 0.85 cm. de arena lavada, rellena de yeso, carbonatos y óxidos, forma con la horizontal un Angulo de 30.
184.89	189	17	0.1	
188.76	192	44	1	Capa de grafito con fracturas frescas, texturas bandeada. Su resistencia es de 77 Mpa, sus fracturas están rellenas con carbonatos y algunas diseminaciones de sulfuros.
191.86	196	44	1	Veta de carbonatos con manchas de grafito
196.48	200	38	0.5	Capa de grafito de grano fino, de color gris oscuro. Su resistencia es de 62 Mpa. Presenta zonas de intenso corte en: 196.70 - 196.30m, 197.27-197.89m

ANEXO B: CONDICIONES GEOMECÁNICAS

Características Geomecánicas	TÚNEL DE CONDUCCION			
	0+975 - 1+225	1+225 - 2+270	2+270 - 2+545	2+545 - 3+140
Progresivas	0+975 - 1+225	1+225 - 2+270	2+270 - 2+545	2+545 - 3+140
Tramos (m)	250	1045	275	595
Tipo de Litología	Intercalaciones de lutitas con cuarcitas.	Intercalaciones de lutitas con cuarcitas.	Andesita.	Andesita.
R.Q.D.	10 - 30	30 - 50	60 - 80	30 - 50
Índice Q' (*)	0.05 - 0.5	0.5 - 5.0	10 - 40	0.5 - 5.0
Índice RMR' (*)	20 - 40	35 - 55	55 - 75	30 - 50
Índice GSI	IF/P	MF/R-P	F/B	MF/R-P
Resistencia uniaxial (σ_c) MPa	30 - 80	60 - 120	120 - 200	70 - 120
Sobrecarga (m)	365 - 400	390 - 590	230 - 500	180 - 310

Características Geomecánicas	TÚNEL DE CONDUCCION			
	3+140 - 3+455	3+455 - 3+800	3+800 - 4+250	4+250 - 4+600
Progresivas	3+140 - 3+455	3+455 - 3+800	3+800 - 4+250	4+250 - 4+600
Tramos (m)	315	345	450	350
Tipo de Litología	Andesita.	Andesita.	Tonalita	Hornfels
R.Q.D.	60 - 80	40 - 60	60 - 80	30 - 50
Índice Q' (*)	10 - 40	1.0 - 10	10 - 40	0.5 - 5.0
Índice RMR' (*)	55 - 75	40 - 60	55 - 75	35 - 55
Índice GSI	F/B	MF/R	F/B	MF/R-P
Resistencia uniaxial (σ_c) MPa	120 - 200	100 - 150	120 - 200	80 - 120
Sobrecarga (m)	290 - 390	370 - 390	435 - 680	670 - 810

ANEXO C: REPORTES DE GEOLOGIA

FRONT	CH	0+911.90	TO	0+915.00
-------	----	----------	----	----------

LITOLÓGICO INTERCALACION TOBAS ANDESITICA

VOLUMETRIC CLASSIFICATION J_v (T.T. E.E. 5.1.2.2)

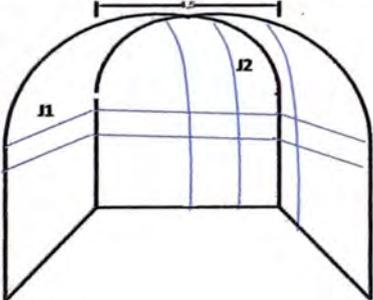
A1	Very Good	J _v < 5/m ³	RQD = 115 - 3.3 J _v
A2	Good	5 < J _v < 10	
A3	Fair	10 < J _v < 20	RQD = 39.1 %
A4	Poor	J _v > 20	
A5	Ext. Poor	J _v > 20	

GEOMECHANICS CLASSIFICATION RMR (BIENIAWSKI)

RMR		RESISTENCIA COMP. SIMPLE (Mpa)	VALORACION	PUNTAJACION
RMR(1)			100-75	8
RMR(2+3)	JUNTAS POR METRO	D1	17	17
		D2	12	
		D3		
		D4		
		MEDIA	15	
RMR(4)	ESTADO DE LAS JUNTAS	Continuidad	1-3 m	4
		Apertura	0.1-3	3
		Regularidad	Usa	1
		Repleno	B < 5 mm	2
		Metaportación	Ligero Mod	4
		SUMA		39
RMR(5)	PRESENCIA DE AGUA	Humedad		7
Corrección según orientación OBRA/DISCONTINUIDAD				-5
VALORACION EN RMR				41

GEOMECHANICS CLASSIFICATION "Q" (Barton), PARAMETERS

RQD	39.1		4.34
J _v	9		
J _r	1.5		0.75
J _w	2		
J _w	0.33		0.33
SRF	1		

$$Q = \frac{RQD}{J_n} \times \frac{J_r}{J_a} \times \frac{J_w}{SRF} = 0.72$$


STRUCTURES

SISTEM	1	2	3	4	5	6
TYPE	BF	J	J	J	J	0
DIP DIRECTION	250	0				
DIP	12	80				
THICKNESS (cm)						
FILLING						
FILTRATION						
J	Joint	Zone	Zone de Faja		Crack	
Hd	Plumada	to V dripping				
Hd	Many	drainage				



INITIAL SUPPORT

Support type II

Shortcrete 7.5 cm, all section

Rock bolts, rows 4-5 @ 1.5 X 1.5 m, L=3.0 m.

		CENTRAL HIDROELECTRICA CHEVES	DATE																																																														
		HEADRACE	12-dic-11																																																														
		GEOLOGICAL DESCRIPTION AND ROCK MASS CLASSIFICATION																																																															
IDENTIFICATION		CH	0+918.50																																																														
		0+915.00	0+918.50																																																														
INTERCALACION TOBAS ANDESITICA																																																																	
VOLUMETRIC CLASSIFICATION Jv (T.T. E.E. 6.1.2.2)		GEOMECHANICS CLASIFICATION RMR (BIENIAWSKI)																																																															
A1	Very Good	Jv < 5m3	RMR(1) RESISTENCIA COMP. SIMPLE(mpa) VALORACION PUNTAJACION 100-125 10 RMR(2+3) JUNTAS POR METRO D1 8 D2 7 D3 8 D4 MEDIA 8 ESTADO DE LAS JUNTAS Continuidad 1-3 m 4 Apertura 0.1-3 4 Rugosidad L/Rugoso 3 Repleno B<5 mm 2 Meteorización Ligero 5 SUMA 51 RMR(5) PRESENCIA DE AGUA Humedo 7 Corrección según orientación CERRA/DESCONTINUIDAD 0 VALORACION EN RMR 58																																																														
A2	Good	5 < Jv < 10																																																															
A3	Fair	10 < Jv < 20																																																															
A4	Poor	Jv > 20																																																															
A5	Ext. Poor	Jv > 20																																																															
RQD = 115 - 3.3 Jv RQD = 60 %																																																																	
GEOMECHANICS CLASSIFICATION "Q" (Barton), PARAMETERS																																																																	
$\frac{60}{6} = 10.00$ $\frac{1.5}{4} = 0.38$ $\frac{1}{2} = 0.50$		$Q = \frac{RQD}{J_n} \times \frac{J_r}{J_a} \times \frac{J_w}{SRF} = 1.88$																																																															
		<table border="1" style="width:100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th rowspan="2">FR. TYPE</th> <th colspan="6">TRU. TYPES</th> </tr> <tr> <th>1</th> <th>2</th> <th>3</th> <th>4</th> <th>5</th> <th>6</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>QIP DIRECTION</td> <td>BF</td> <td>J</td> <td>J</td> <td>J</td> <td>J</td> <td></td> </tr> <tr> <td>DIP</td> <td>248</td> <td>80</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>THICKNESS (cm)</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>FILLING</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>EXTRATEIN</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>J1</td> <td>Joint</td> <td>Z Joint</td> <td>Zonas de Falla</td> <td>Q</td> <td>Comp</td> <td></td> </tr> <tr> <td>No</td> <td>Humid o few droppings</td> <td>No</td> <td>Many droppings</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>		FR. TYPE	TRU. TYPES						1	2	3	4	5	6	QIP DIRECTION	BF	J	J	J	J		DIP	248	80					THICKNESS (cm)							FILLING							EXTRATEIN							J1	Joint	Z Joint	Zonas de Falla	Q	Comp		No	Humid o few droppings	No	Many droppings			
FR. TYPE	TRU. TYPES																																																																
	1	2	3	4	5	6																																																											
QIP DIRECTION	BF	J	J	J	J																																																												
DIP	248	80																																																															
THICKNESS (cm)																																																																	
FILLING																																																																	
EXTRATEIN																																																																	
J1	Joint	Z Joint	Zonas de Falla	Q	Comp																																																												
No	Humid o few droppings	No	Many droppings																																																														
INITIAL SUPPORT		PHOTOGRAPHY																																																															
Support type II Shortcrete 7.5 cm, all section Rock bolts, rows 4-5 @ 2.0 X 2.0 m, L=3.0 m.																																																																	
CCH REPRESENTATIVE		DATE																																																															
NPE REPRESENTATIVE		DATE																																																															



HYDROPOWER CHEVES

DATE

HEADRACE DR-4

14-ene-12

GEOLOGICAL DESCRIPTION AND ROCK MASS CLASSIFICATION

FACE	CH	0+921,70	TO	0+924,60
------	----	----------	----	----------

VOLUMETRIC CLASSIFICATION Jv (T.T. E.E. 6.1.2.2)

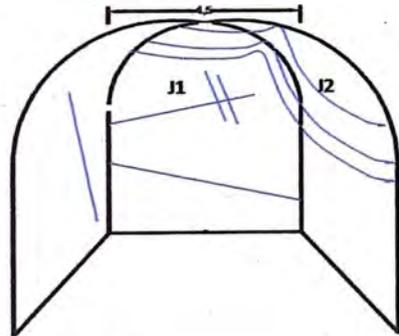
A1	Very Good	Jv < 5/m3	RQD = 115 - 3.3 Jv
A2	Good	5 < Jv < 10	
A3	Fair	10 < Jv < 20	RQD = 55,6 %
A4	Poor	Jv > 20	
A5	Ext. Poor	Jv > 20	

GEOMECHANICS CLASSIFICATION RMR (BIENIAWSKI)

RMR		ASSESSMENT	RATING
RMR(1)	UNIAXIAL COMP. STRENGTH (MPa)	125-100	12
RMR(2+3)	JOINTS PER METER	D1	7
		D2	9
		D3	10
		D4	
		AVERAGE	9
RMR(4)	JOINTS CONDITION	Persistence	3-5 m
		Aperture	> 5 mm
		Roughness	Slightly rough
		Filling	S > 5 mm
		Weathering	Mod - Highly
		TOTAL	41
RMR(5)	GROUNDWATER STATE	Damp	8
FRACTURE ORIENTATION			-5
RMR RATING			44

GEOMECHANICS CLASSIFICATION "Q" (Barton), PARAMETERS

RQD	55,6	9,27
Jr	6	
Jr	1,5	0,50
Ja	3	
Jw	1	0,40
SRF	2,5	

$$Q = \frac{RQD}{J_n} \times \frac{J_r}{J_a} \times \frac{J_w}{SRF} = 1,00$$


STRUCTURES/JOINTS

SISTEM	1	2	3	4	5	6
TIP	J	J				
DIP DIRECTION	168	43				
DIP	10	88				
THICKNESS (cm)						
FILLING						
FILTRATION						
J	Joint	Zfault	Zona de Falha	IC	Cond	
Hd	humid a few drippings		Hs	Many drippings		



INITIAL SUPPORT RECOMMENDED

Support type II

Shotcrete de 10 cm. All section

Rock bolts row 5-6 @ 1.5 x 1.5 L=3.0 m

PHOTOGRAPY

CCH REPRESENTATIVE _____ DATE _____ NPE REPRESENTATIVE _____ DATE _____



HYDROPOWER CHEVES

DATE

ADIT DR-4

15-ene-12

GEOLOGICAL DESCRIPTION AND ROCK MASS CLASSIFICATION

IDENTIFICATION

FACE	CH	0+927,60	TO	0+931,30
------	----	----------	----	----------

LITHOLOGY

VOLUMETRIC CLASSIFICATION Jv (T.T. E.E. 5.1.2.2)

A1	Very Good	Jv < 5/m3	RQD = 115 - 3.3 Jv
A2	Good	5 < Jv < 10	
A3	Fair	10 < Jv < 20	
A4	Poor	Jv > 20	
A5	Ext. Poor	Jv > 20	
			RQD = 55,6 %

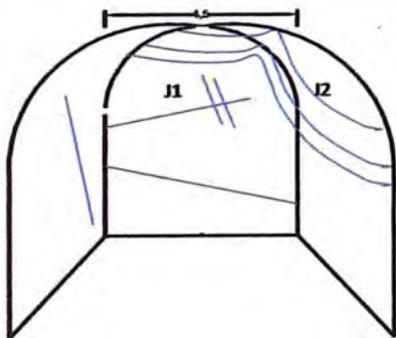
GEOMECHANICS CLASSIFICATION RMR (BIENIAWSKI)

RMR		ASSESSMENT	RATING
RMR(1)	UNIAXIAL COMP. STRENGTH (MPa)	125-100	12
RMR(2+3)	JOINTS PER METER	D1	14
		D2	12
		D3	8
		D4	
		AVERAGE	11
RMR(4)	JOINTS CONDITION	Persistence	3-5 m
		Aperture	> 5 mm
		Roughness	Slightly
		Filling	S > 5 mm
		Weathering	Mod - Highly
		TOTAL	40
RMR(5)	GROUNDWATER STATE	Damp	8
FRACTURE ORIENTATION			-5
RMR RATING			43

GEOMECHANICS CLASSIFICATION "Q" (Barton), PARAMETERS

RQD	55,6	9,27
Jn	6	
Jr	1,5	0,50
Ja	3	
Jw	1	0,40
SRF	2,5	

$$Q = \frac{RQD}{J_n} \times \frac{J_r}{J_a} \times \frac{J_w}{SRF} = 0,89$$



SYSTEM	STRUCTURES/JOINTS					
	1	2	3	4	5	6
TYPE	J	J				
DIP DIRECTION	158	43				
DIP	10	88				
THICKNESS (cm)						
FILLING						
FILTRATION						
J	Joint	Zfault	Zona de Falla	C	Cont	
Hd	Humid a few drippings		H6	Many drippings		



PHOTOGRAPHY

INITIAL SUPPORT RECOMMENDED

Support type II

Shotcrete de 7.5 cm. All section

Rock bolts row 5-6 @ 1.5 x 1.5 L=3.0 m

CCH REPRESENTATIVE _____ DATE _____ NPE REPRESENTATIVE _____ DATE _____



HYDROPOWER CHEVES

DATE

HEADRACE DR-4

19-ene-12

GEOLOGICAL DESCRIPTION AND ROCK MASS CLASIFICACION

IDENTIFICATION

FACE

CH

0+947,65

TO

0+950,70

LITHOLOGY

quartzite

VOLUMETRIC CLASSIFICATION Jv (T.T. E.E. 5.1.2.2)

A1	Very Good	Jv < 5/m3
A2	Good	5 < Jv < 10
A3	Fair	10 < Jv < 20
A4	Poor	Jv > 20
A5	Ext. Poor	Jv > 20

RQD = 115 - 3.3 Jv

RQD = 80 %

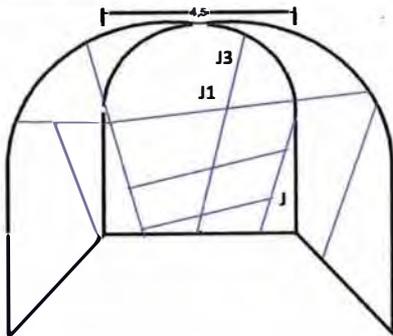
GEOMECHANICAL CLASSIFICATION RMR (BIENIAWSKI)

RMR		ASSESSMENT	RATING
RMR(1)	UNIAXIAL COMP. STRENGTH (MPa)	175 - 125	12
RMR(2+3)	JOINTS PER METER	D1	7
		D2	5
		D3	7
		D4	
		AVERAGE	6
RMR(4)	JOINTS CONDITION	Persistence	3-10 m
		Aperture	> 5 mm
		Roughness	Slightly rough
		Filling	S 1 - 3 mm
		Weathering	Slightly mod
		TOTAL	49
RMR(5)	GROUNDWATER STATE	dry	14
FRACTURE ORIENTATION			-5
RMR RATING			58

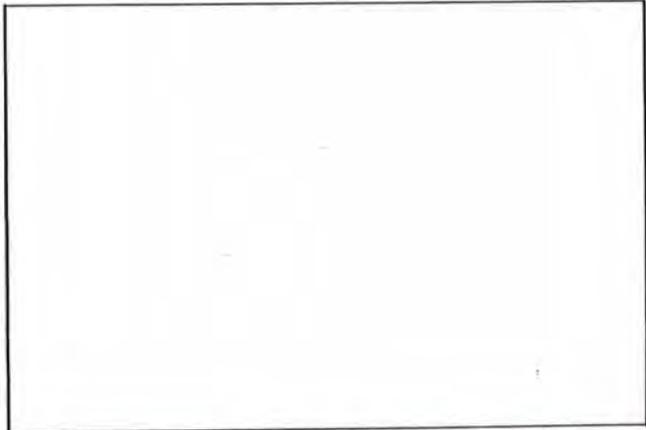
GEOMECHANICS CLASIFICACION "Q" (Barton), PARAMETERS

Jn	80	20,00
	4	
	1,5	0,50
	3	
	0,66	0,44
	1,5	

$$Q = \frac{RQD}{Jn} \times \frac{Jr}{Ja} \times \frac{Jw}{SRE} = 4,74$$



STRUCTURES/JOINTS							
J	EM	1	2	3	4	5	6
	J	J	J				
	DIR. DIRECTIO	60	240	158			
	THICKNESS (cm)	20	70	15			
	FILTRATION						
J	Joint	Zfault	Zona de Falla	C	Cont		
Hd	Humid a few drippings		Hs	Many drippings			



PHOTOGRAPHY

INITIAL SUPPORT RECOMMENDED

Support type III

Shotcrete de 10 cm. All section

Rock bolts rows 7-8 @ 1.5 x 1.5 L=3.0 m φ=19 mm (the lowest will be place at 1,20 m from the tunnel floor)

CCH REPRESENTATIVE

DATE

NPE REPRESENTATIVE

DATE



HYDROPOWER CHEVES

DATE

HEADRACE DR-4

23-ene-12

GEOLOGICAL DESCRIPTION AND ROCK MASS CLASSIFICATION

IDENTIFICATION

FACE	CH	0+961,30	TO	0+964,60
------	----	----------	----	----------

LITHOLOGY **quartzite**

VOLUMETRIC CLASSIFICATION Jv (T.T. E.E. 5.1.2.2)

A1	Very Good	Jv < 5/m3	RQD = 115 - 3.3 Jv
A2	Good	5 < Jv < 10	
A3	Fair	10 < Jv < 20	RQD = 50 %
A4	Poor	Jv > 20	
A5	Ext. Poor	Jv > 20	

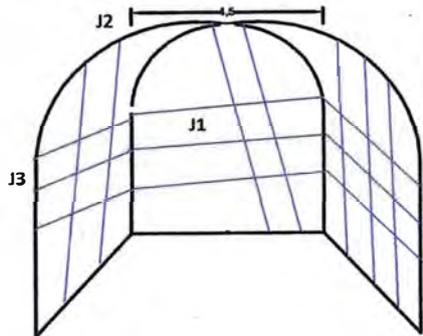
GEOMECHANICAL CLASSIFICATION RMR (BIENIAWSKI)

RMR		ASSESSMENT	RATING
RMR(1)	UNIAXIAL COMP. STRENGTH (MPa)	75 - 100	8
RMR(2+3)	JOINTS PER METER	D1	18
		D2	7
		D3	6
		D4	
		AVERAGE	10
RMR(4)	JOINTS CONDITION	Persistence	1-3 m
		Aperture	1-5 mm
		Roughness	Slightly rough
		Filling	H < 5mm
		Weathering	Moderately
		TOTAL	
RMR(5)	GROUNDWATER STATE	Dripping	4
FRACTURE ORIENTATION			0
RMR RATING			49

GEOMECHANICS CLASSIFICATION "Q" (Barton), PARAMETERS

RQD	50	5,56
Jn	9	
Jr	1	0,40
Ja	2,5	
Jw	1	0,33
SRE	3	

$$Q = \frac{RQD}{Jn} \times \frac{Jr}{Ja} \times \frac{Jw}{SRE} = 0,74$$



STRUCTURES/JOINTS						
SISTEM	1	2	3	4	5	6
TIPE	J	J	J			
DIP DIRECTION	10	130	15			
DIP	88	30	35			
THICKNESS (cm)						
FILLING						
FILTRATION						
J	Joint	Zfault	Zona de Falla	C	Cont	
Hd	Humid a few drippings		Hs Many drippings			



PHOTOGRAPHY

INITIAL SUPPORT RECOMMENDED

Support type III

Shotcrete de 10 cm. All section

Rock bolts rows 6-7 @ 1.5 x 1.5 L=3.0 m φ=19 mm

RC _____ DATE _____ NPE REPRESENTATIVE _____ DATE _____

CCH REPRESENTATIVE _____



HYDROPOWER CHEVES

DATE

HEADRACE DR-4

GEOLOGICAL DESCRIPTION AND ROCK MASS CLASSIFICATION

IDENTIFICATION

FACE CH 0+969,20 TO 0+972,20

LITHOLOGY

VOLUMETRIC CLASSIFICATION Jv (T.T. E.E. 5.1.2.2)

A1	Very Good	Jv < 5/m3	RQD = 115 - 3.3 Jv
A2	Good	5 < Jv < 10	
A3	Fair	10 < Jv < 20	RQD = %
A4	Poor	Jv > 20	
A5	Ext. Poor	Jv > 20	

GEOMECHANICAL CLASSIFICATION RMR (BIENIAWSKI)

RMR		ASSESSMENT	RATING
RMR(1)	UNIAXIAL COMP. STRENGTH (MPa)		
RMR(2+3)	JOINTS PER METER	D1	
		D2	
		D3	
		D4	
		AVERAGE	
RMR(4)	JOINTS CONDITION	Persistence	
		Aperture	
		Roughness	
		Filling	
		Weathering	
	TOTAL		
RMR(5)	GROUNDWATER STATE		
FRACTURE ORIENTATION			
RMR RATING			0

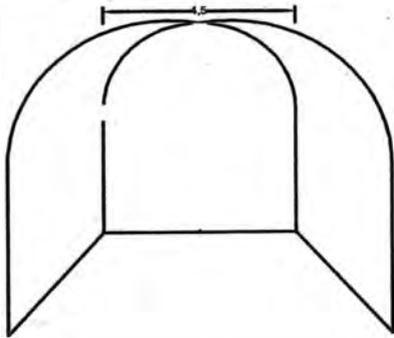
GEOMECHANICS CLASSIFICATION "Q" (Barton), PARAMETERS

RQD Ja #####

Jr Ja #####

Jw SRF #####

$$Q = \frac{RQD}{J_n} \times \frac{J_r}{J_a} \times \frac{J_w}{SRF} = \text{#DIV/0!}$$



SYSTEM	STRUCTURES/JOINTS					
	1	2	3	4	5	6
TYPE						
DIP DIRECTION						
DIP						
THICKNESS (cm)						
FILLING						
FILTRATION						
J	Joint	Zfault	Zona de Falla	C	Cont	
Hd	Humid a few drippings		Hs Many drippings			



PHOTOGRAPHY

INITIAL SUPPORT RECOMMENDED

Support type III
 Shotcrete de 7.50 cm. All section
 Rock bolts rows 6-7 @ 1.5 x 1.5 L=3.0 m φ=19 mm

CCH REPRESENTATIVE

DATE

NPE REPRESENTATIVE

DATE



HYDROPOWER CHEVES

DATE

HEADRACE DR-4

26-ene-12

GEOLOGICAL DESCRIPTION AND ROCK MASS CLASSIFICATION

IDENTIFICATION

FACE CH 0+972,20 TO 0+974,50

LITHOLOGY sandstone

VOLUMETRIC CLASSIFICATION Jv (T.T. E.E. 5.1.2.2)

A1	Very Good	Jv < 5/m3	RQD = 115 - 3.3 Jv
A2	Good	5 < Jv < 10	
A3	Fair	10 < Jv < 20	RQD = 49 %
A4	Poor	Jv > 20	
A5	Ext. Poor	Jv > 20	

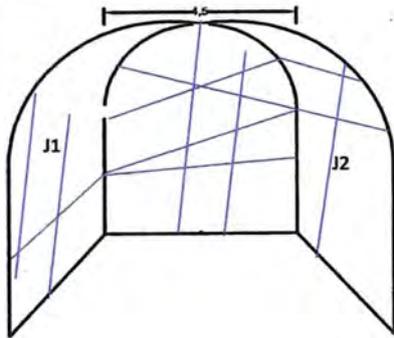
GEOMECHANICAL CLASSIFICATION RMR (BIENIAWSKI)

RMR		ASSESSMENT	RATING
RMR(1)	UNIAXIAL COMP. STRENGTH (MPa)	75 - 100	8
RMR(2+3)	JOINTS PER METER	D1	7
		D2	8
		D3	10
		D4	
		AVERAGE	8
RMR(4)	JOINTS CONDITION	Persistence	1-3 m
		Aperture	1-5 mm
		Roughness	S rough
		Filling	H < 5mm
		Weathering	Moderately
		TOTAL	46
RMR(5)	GROUNDWATER STATE	wet	7
FRACTURE ORIENTATION			-5
RMR RATING			48

GEOMECHANICS CLASSIFICATION "Q" (Barton), PARAMETERS

RQD	49	5,44
Jn	9	
Jr	1,5	1,50
Ja	1	
Jw	0,5	0,25
SRF	2	

$$Q = \frac{RQD}{Jn} \times \frac{Jr}{Ja} \times \frac{Jw}{SRF} = 1,56$$



SYSTEM	STRUCT. RES. JOINTS					
	1	2	3	4	5	6
TIPE	J	J	J			
DIP DIRECTION	131	212	170			
DIP	71	80	12			
THICKNESS (cm)						
FILLING						
FILTRATION						
J	Joint	Zfault	Zona de Falta	C	Cont	
Hd	Humid a few drippings		Hs Many drippings			



PHOTOGRAPHY

INITIAL SUPPORT RECOMMENDED

Support type III
 Shotcrete de 10 cm. All section
 Rock bolts rows 6 -7 @ 1.5 x 1.5 L=3.0 m φ=19 mm

CCH REPRESENTATIVE

DATE

NPE REPRESENTATIVE

DATE

ANEXO D: ANALISIS QUIMICO DE MUESTRAS DE AGUA



CHEVES
HYDROPOWER
PROJECT

Ubicación	PIE	Correlativo
DR04	TU	033701

LABORATORIO DE AUTOCONTROL

ANALISIS QUIMICO EN MUESTRAS DE AGUA

Descripción de Muestra: **LAB 0015-2** Responsable: **CLL**
 Ubicación: **DR 04 TUNEL CONDUCCION** Hecho Por: **JPA**
 Punto de Muestreo: **Km 0+937 L DERECHO ZH. 4:00** Fecha: **31/03/13**

Ensayo N°	Descripción	Método	Unidad	resultados	Evaluación
1	Contenido de Sulfatos (SO ₄ ²⁻)	Colorimétrico	mg/L	800 mg/L 1200	MAX 2000 mg/L - CUMPLE
2	Contenido de Cloruros (Cl ⁻)	Volumétrico	mg/L	175	MAX 1000 mg/L - CUMPLE
3	PH	Colorimétrico		7.0	≥ 4 - CUMPLE
4	Dureza de Carbonatos	Volumétrico	mg/L de CaCO ₃	990.8	NO ESPECIFICO
5	Dureza Total	Volumétrico	mg/L de CaCO ₃	1139.2	NO ESPECIFICO
6	Contenido de Hierro	Colorimétrico	mg/L	0	NO ESPECIFICO
7	Contenido de Magnesio	Colorimétrico	mg/L	300	NO ESPECIFICO
8	Contenido de Dióxido de Carbono	Colorimétrico	mg/L	150	NO ESPECIFICO
9	Aceites y Grasas	BS EN 1008:2002 (6.1.1)		NP	TABLA 1 - CUMPLE
10	Detergentes	BS EN 1008:2002 (6.1.1)		NP	TABLA 1 - CUMPLE
11	Color	BS EN 1008:2002 (6.1.1)		MENOS OSCURO QUE EL AMARILLO PADDO.	
12	Sólidos Totales		mg/L		
13	Olor	BS EN 1008:2002 (6.1.1)		NP	TABLA 1 - CUMPLE.

* NP : NO PRESENTA

Observaciones: **ENSAYOS EFECTUADOS BAJO PARAMETROS DE LA NORMA BS EN 1008:2002**

Resp. De Laboratorio CCH:  Supervisor NPE:





CHEVES
HYDROPOWER
PROJECT

UBICACIÓN	PIE	CORRELATIVO
DRO4	TU	014032

LABORATORIO DE AUTOCONTROL

ANALISIS QUIMICO EN MUESTRAS DE AGUA

Frente de Trabajo: DRO4-HEADRACE TUNEL CHCLMAS
 PK: 0+916.6 - 339.
 Ubi. Filtración: FRENTE DE TUNEL.

Responsable: GQE
 Hecho Por: F.C.V.
 Fecha: 16-12-2011

Ensayo N°	Descripción	Método	Unidad	resultados	Evaluación
1	Contenido de Sulfatos (SO_4^{2-})	Colorimétrico	mg/L	7400	Exposición MODERADA
2	Contenido de Cloruros (Cl^-)	Volumétrico	mg/L		
3	PH	Colorimétrico		6.5	< 7.0 ACIDA
4	Dureza de Carbonatos	Volumétrico	mg/L de $CaCO_3$		
5	Dureza Total	Volumétrico	mg/L de $CaCO_3$		
6	Contenido de Amonio	Colorimétrico	mg/L		
7	Contenido de Magnesio	Colorimétrico	mg/L		
8	Contenido de Dióxido de Carbón	Colorimétrico	mg/L		

- (*) Muestra obtenida del punto de filtración.
- (*) Ensayados a 25°C (±2°C)
- (*) El grado de exposición por contenido de sulfatos evaluado según ACl-3185

Observaciones: ENSAYO REALIZADO A UNA TEMPERATURA DE 23°C.

Laboratorista CCH:

Supervisor NPE:



CHEVES
HYDROPOWER
PROJECT

UBICACION	PIE	CORRELATIVO
DR04	TU	01403

LABORATORIO DE AUTOCONTROL

ANALISIS QUIMICO EN MUESTRAS DE AGUA

Frente de Trabajo: DR 04 - HEADRACE TUNNEL CHECHAS
PK: 0+921.60
Ubi. Filtración: HASTIAL LADO EJE

Responsable: GQE
Hecho Por: J.C.V.
Fecha: 16-12-2014

Ensayo N°	Descripción	Método	Unidad	resultados	Evaluación
1	Contenido de Sulfatos (SO_4^{2-})	Colorimétrico	mg/L	< 200	Exposición Moderada
2	Contenido de Cloruros (Cl^-)	Volumétrico	mg/L		
3	PH	Colorimétrico		7.5	7.0 Alcalina
4	Dureza de Carbonatos	Volumétrico	mg/L de $CaCO_3$		
5	Dureza Total	Volumétrico	mg/L de $CaCO_3$		
6	Contenido de Amonio	Colorimétrico	mg/L		
7	Contenido de Magnesio	Colorimétrico	mg/L		
8	Contenido de Dióxido de Carbón	Colorimétrico	mg/L		

(*) Muestra obtenida del punto de filtración.

(*) Ensayadas a 25°C ($\pm 2^\circ C$)

(*) El grado de exposición por contenido de sulfatos evaluado según ACI-318S

Observaciones: ENSAYO REALIZADO A UNA TEMPERATURA DE 23°C

Laboratorista CCH:

Supervisor NPE:

Ubicación 110	PIE TU	Correlativo 007424
------------------	-----------	-----------------------

DU-04



CHEVES
HYDROPOWER
PROJECT

LABORATORIO DE AUTOCONTROL

ANALISIS QUIMICO EN MUESTRAS DE AGUA

Frete de Trabajo: DR04 - HEADRACE TUNNEL CHECRAS **Responsable:** GQE
PK: 921.6 **Hecho Por:** JCV
Ubi. Filtración: Frontal (eje) **Fecha:** 17/12/2011

Ensayo N°	Descripción	Método	Unidad	resultados	Evaluación
1	Contenido de Sulfatos (SO ₄ ²⁻)	Colorimétrico	mg/L	<200	Exposición Moderada
2	Contenido de Cloruros (Cl ⁻)	Volumétrico	mg/L		
3	PH	Colorimétrico		7.5	> 7.0 - Alcalino
4	Dureza de Carbonatos	Volumétrico	mg/L de CaCO ₃	---	
5	Dureza Total	Volumétrico	mg/L de CaCO ₃		
6	Contenido de Amonio	Colorimétrico	mg/L		
7	Contenido de Magnesio	Colorimétrico	mg/L		
8	Contenido de Dióxido de Carbón	Colorimétrico	mg/L		

(*) Muestra obtenida del punto de filtración.
 (*) Ensayadas a 25°C (±2°C)
 (*) El grado de exposición por contenido de sulfatos evaluado según AG-3185

Observaciones: Temperatura del agua en túnel 37° C, caudal de agua 3.98 Lts/seg.

Resp. De Laboratorio CCH: 	Supervisor NPE:
---	------------------------



CHEVES
HYDROPOWER
PROJECT

UBICACION	PIE	CONTROLADO
110	TU	007423

DR-04

LABORATORIO DE AUTOCONTROL

ANALISIS QUIMICO EN MUESTRAS DE AGUA

Frente de Trabajo: DR 04_HEDRACE (tunel de conduccion) Responsable: GQE
PK: 916.6 Hecho Por: JCV
Ubi. Filtración: Hastlal lado lzq. Fecha: 16/12/2011

Ensayo N°	Descripción	Método	Unidad	resultados	Evaluación
1	Contenido de Sulfatos (SO_4^{2-})	Colorimétrico	mg/L	>400	Exposición Moderada
2	Contenido de Cloruros (Cl^-)	Volumétrico	mg/L		
3	PH	Colorimétrico		6.5	<7.0 Alcalina
4	Dureza de Carbonatos	Volumétrico	mg/L de $CaCO_3$		
5	Dureza Total	Volumétrico	mg/L de $CaCO_3$		
6	Contenido de Amonio	Colorimétrico	mg/L		
7	Contenido de Magnesio	Colorimétrico	mg/L		
8	Contenido de Dióxido de Carbón	Colorimétrico	mg/L		

(* Muestra obtenido del punto de filtración.

(* Ensayadas a 25°C (±2°C)

(* El grado de exposición por contenido de sulfatos evaluado según ACI-3185

Observaciones: Temperatura del agua en el túnel 36° C, Caudal del agua 2.28 Lts/seg

Resp. De Laboratorio CCH:

Supervisor NPE:

ANEXO E: PLANOS

Cajetambo

8 840 000 N

8 832 000 N

8 824 000 N

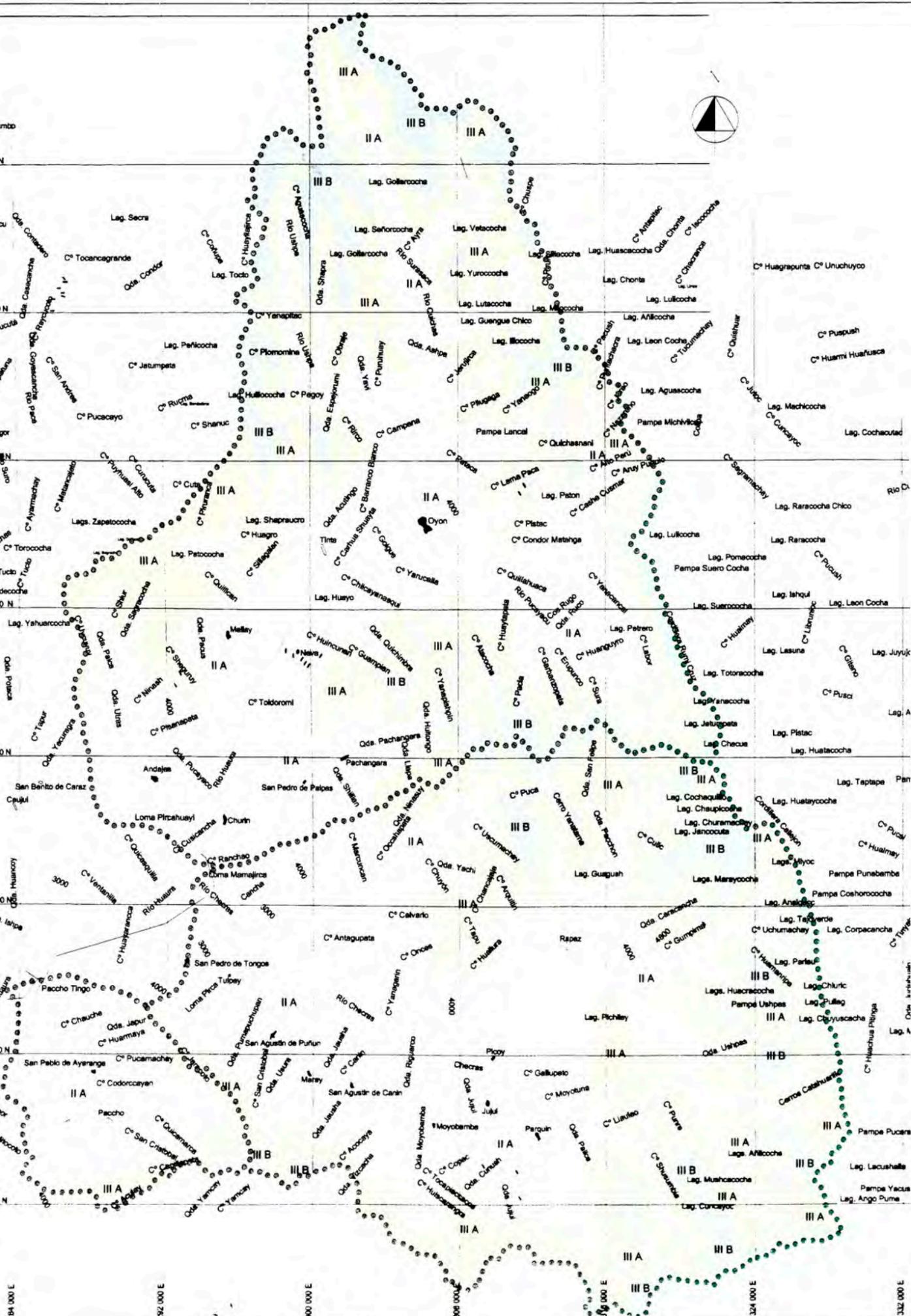
8 816 000 N

8 808 000 N

8 800 000 N

8 792 000 N

8 784 000 N



UNIDADES GEOMORFOLÓGICAS

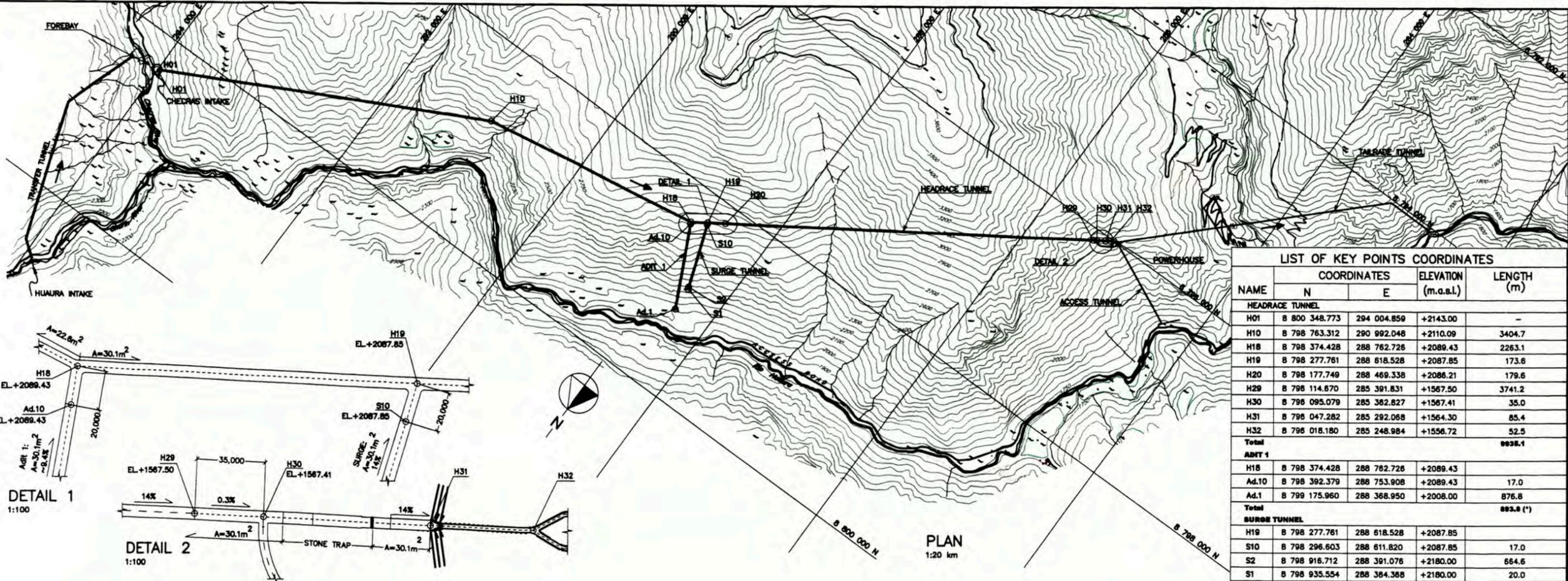
UNIDADES	SUB-UNIDADES	ALTITUD m.s.n.m.	% DEL AREA DE LA CUENCA	PENDIENTES	CARACTERÍSTICAS		
CUENCA MEDIA	VALLE DEL RIO HUAYRA Y SU RIED TRIBUTARIA	ETAPA VALLE ETAPA CAÑÓN	II A	800 - 4600	37	5° - 80°	OCUPA LA MAYOR PARTE DEL RELIEVE DE LA CUENCA, CON UNA TOPOGRAFIA QUE VARIA DE LLANO (MARGENES DEL RIO) HASTA ABRUPTO. LA ALTA VELOCIDAD DE LAS AGUAS INDICA QUE LOS RIOS DE LA CUENCA NO HAN CONSEGUIDO SU PERFIL DE EQUILIBRIO POR ENCONTRARSE EN ESTADO JUVENIL. EN ESTA UNIDAD OCURREN CON MAS FRECUENCIA FENOMENOS DE GEODINAMICA EXTERNA
CUENCA ALTA	ALTIPLANOS	AREAS GLACIARES	III A	4600 - 4800	20	2° - 15°	LAS FORMAS DE RELIEVE HAN SIDO CAUSADOS POR ACCIÓN GLACIAR Y FLUVIO-GLACIAR ORIGINÁNDOSE PENILLANURAS Y CADENAS DE CERROS QUE SOPORTAN UNA INTENSA EROSIÓN
							III B



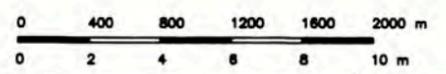
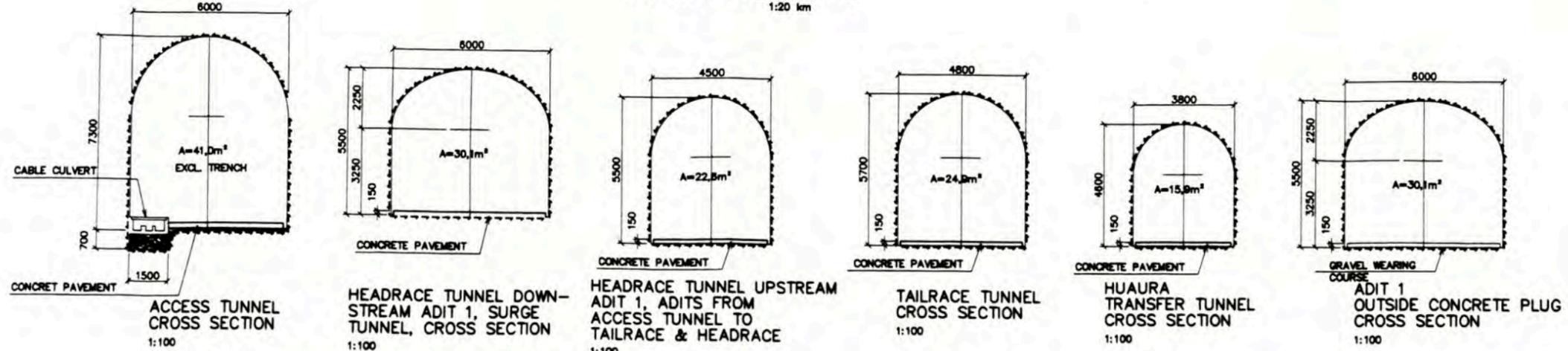
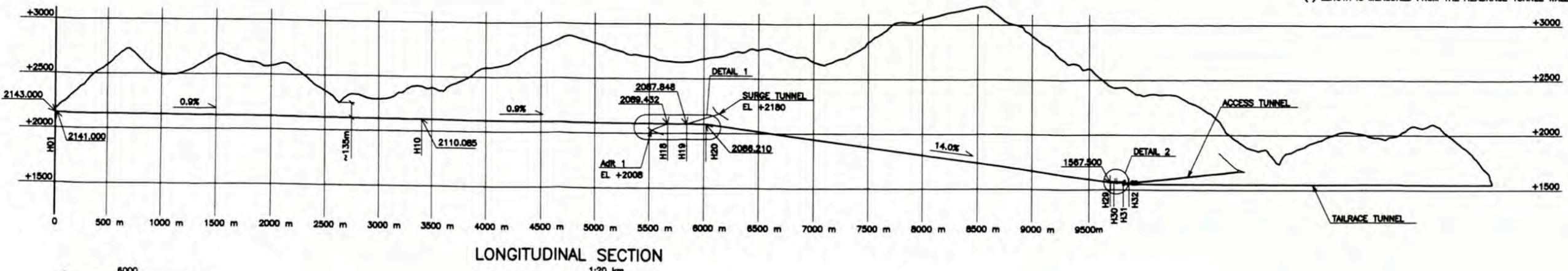
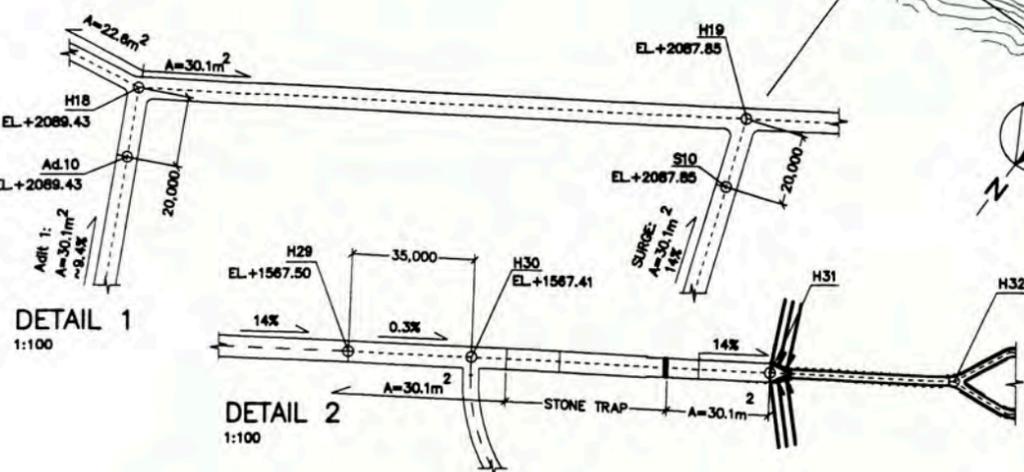
ACTUALIZACIÓN INFORME GEOLÓGICO TECTÓNICO EVA FEB 19
 REVISIÓN DESCRIPCIÓN APR 1974

SN POWER PERU
CENTRAL HIDROELÉCTRICA CHEVES
 ESTUDIO DE FACTIBILIDAD

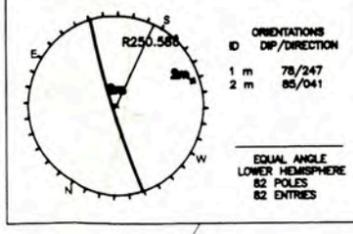
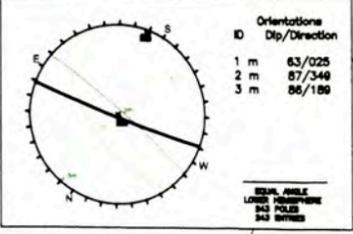
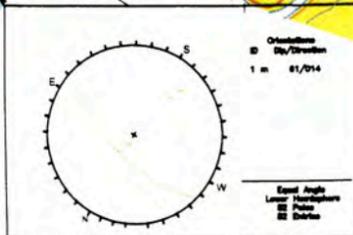
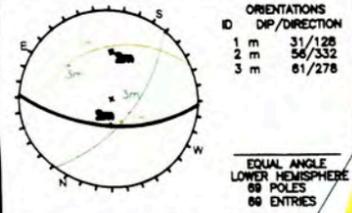
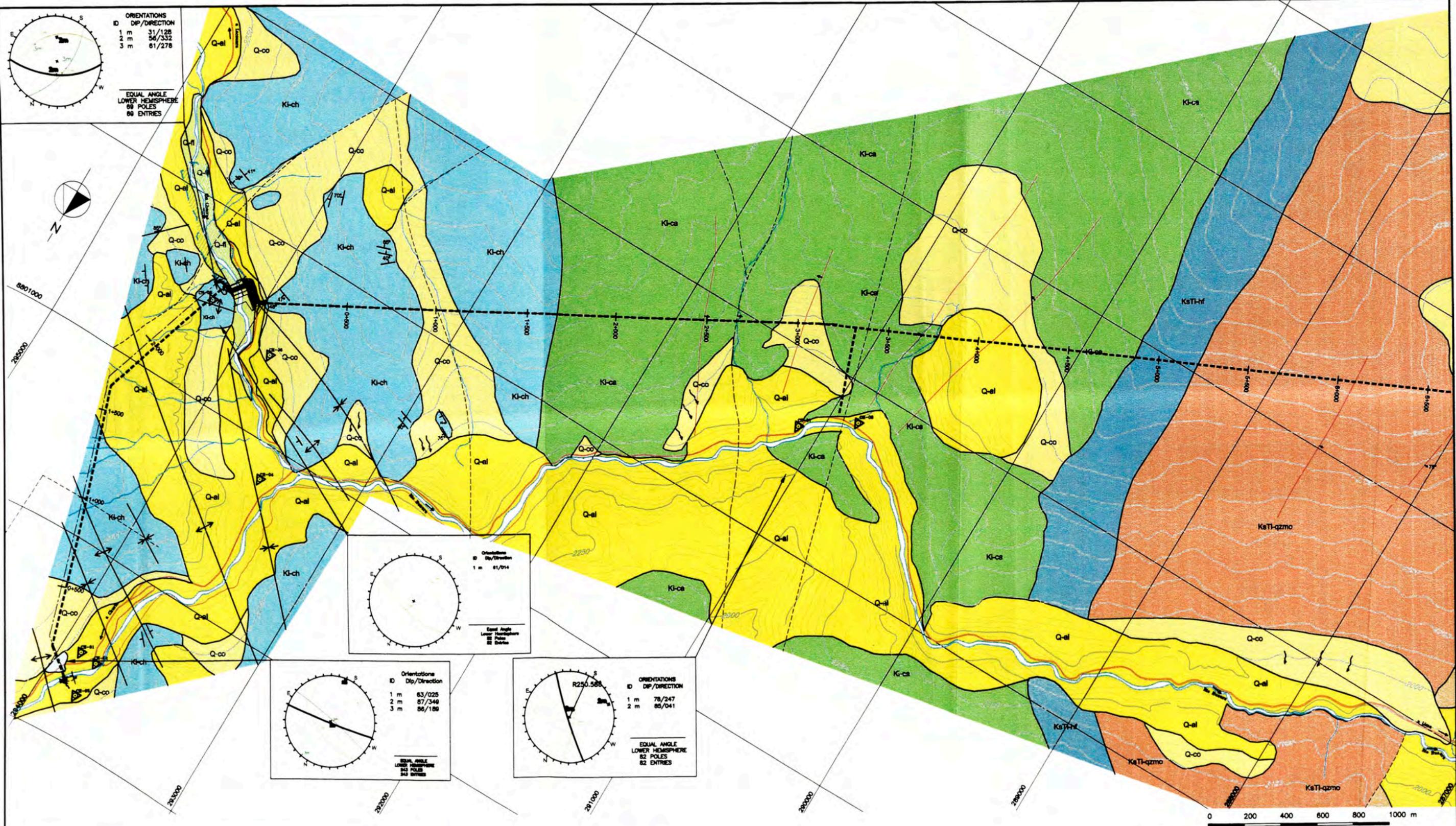




LIST OF KEY POINTS COORDINATES				
NAME	COORDINATES		ELEVATION (m.a.s.l.)	LENGTH (m)
	N	E		
HEADRACE TUNNEL				
H01	8 800 348.773	294 004.859	+2143.00	-
H10	8 798 763.312	290 992.048	+2110.09	3404.7
H18	8 798 374.428	288 762.726	+2089.43	2263.1
H19	8 798 277.761	288 618.528	+2087.85	173.6
H20	8 798 177.749	288 469.338	+2086.21	179.6
H29	8 798 114.670	285 391.831	+1567.50	3741.2
H30	8 798 095.079	285 362.627	+1567.41	35.0
H31	8 798 047.282	285 292.068	+1564.30	85.4
H32	8 798 018.180	285 248.984	+1556.72	52.5
Total				9938.1
ADIT 1				
H18	8 798 374.428	288 762.726	+2089.43	
Ad.10	8 798 392.379	288 753.908	+2089.43	17.0
Ad.1	8 799 175.960	288 368.950	+2008.00	876.8
Total				893.8 (*)
SURGE TUNNEL				
H19	8 798 277.761	288 618.528	+2087.85	
S10	8 798 296.603	288 611.820	+2087.85	17.0
S2	8 798 916.712	288 391.076	+2180.00	664.6
S1	8 798 935.554	288 384.368	+2180.00	20.0
Total				701.6 (*)



EMPRESA DE GENERACION ELECTRICA CHEVES S.A.				
CHEVES HYDROPOWER PROJECT				
CONTRACT DOCUMENTS				
HEADRACE TUNNEL		C		
GENERAL LAYOUT		301		
PLAN, LONG PROFILE, TYPICAL SECTIONS				
DES.	DRA.	REV.	APPR.	DATE
JByA	JByA			2010-11-04
Norconsult				

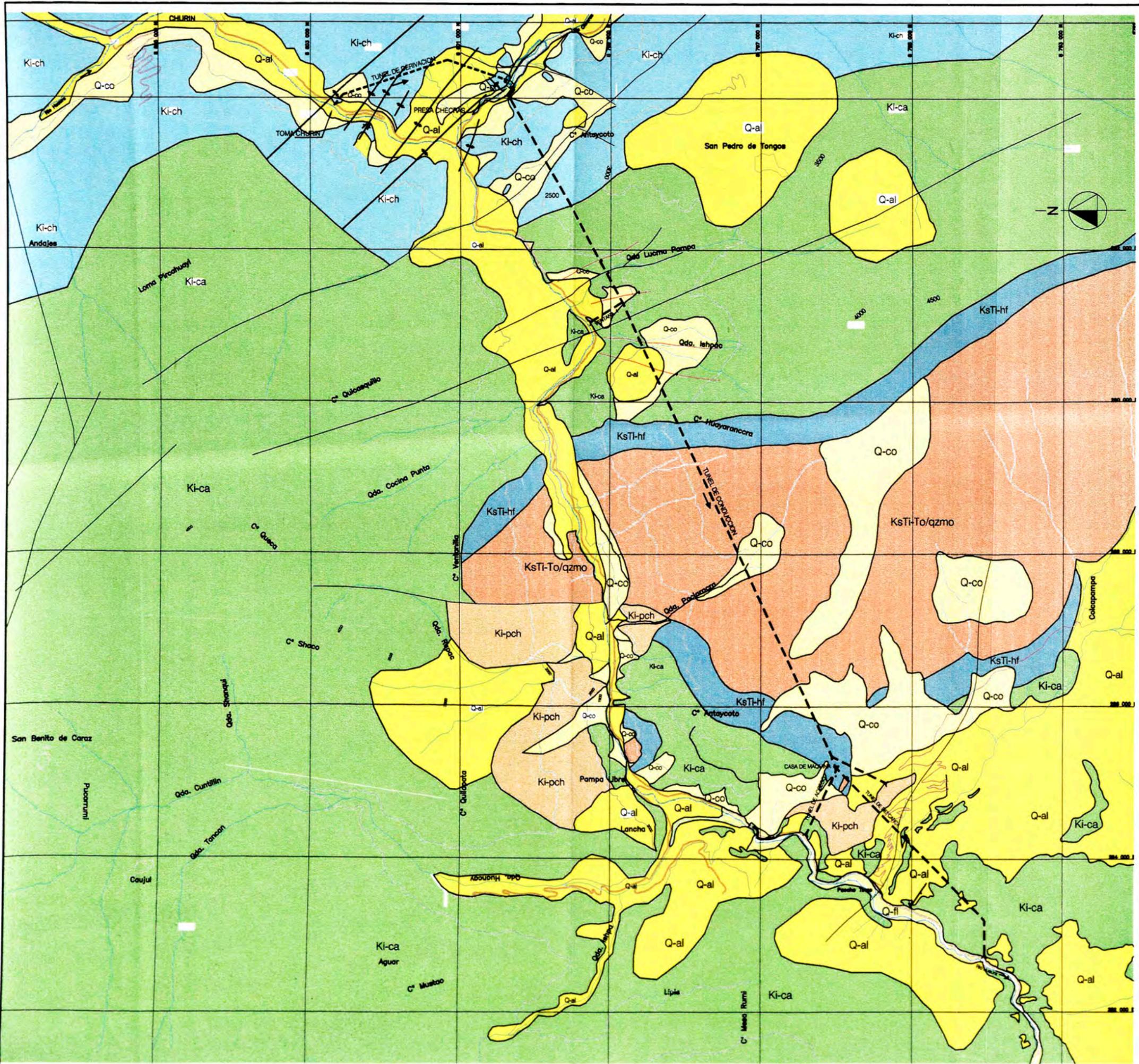


LEYENDA GEOLOGICA					
ERA	SISTEMA	SERIE	UNIDADES LITOLÓGICAS	R. INTRUSIVA - METAMÓRFICA	
MESOZOICO CENOZOICO	CUATERNARIO		DPTS FLUVIALES	Q-el	
			DPTS COLUMIALES	Q-co	
			DPTS ALUVIALES	Q-al	
	TERCIARIO		FM. PACCHO TINGO	Ki-pch	
			GRUPO CASMA	Ki-ca	
	CRETACEO INFERIOR		FM. CHIMU	Ki-ch	

SIMBOLOGIA GEOLOGICA	
	CONTACTO GEOLOGICO
	CONTACTO GEOLOGICO INFERIDO
	RUMBO Y BUZAMIENTO DE ESTATIFICACION
	RUMBO Y BUZAMIENTO DE FRACTURAS
	FALLA
	FALLA INFERIDA
	EJE DE SINCLINAL
	EJE DE ANTICLINAL
	ESCOMBRERAS
	ANTICLINAL VOLCADO
	BLOQUE CAIDO

LEYENDA TOPOGRAFICA	
	CURVAS DE NIVEL A 25 m
	PROYECTOS DE TUNEL
	RIO
	CARRETERA AFIRMADA
	PUNTE TUNEL
	PUNTOS GEODÉSICOS
	SECCIONES TRANSVERSALES

01	ACTUALIZACIÓN INFORME GEOLÓGICO GEOTÉCNICO	JByA	FEB. '08
REV. N°	DESCRIPCIÓN	APR.	FECHA
SN POWER PERU			
CENTRAL HIDROELÉCTRICA CHEVES			
ESTUDIO DE FACTIBILIDAD			
GEOLOGÍA GEOLÓGICO - GEOTÉCNICO PLANTA			CHCHE 204 1/2
DIS.	DIB.	REV.	APR.
V.M.	J.R.	C.V.	J.B.
			FECHA JUL '08
			JByA Norconsult



LEYENDA GEOLOGICA				
ERA	SISTEMA	SERIE	UNIDADES LITOLÓGICAS	R. INTRUSIVA - METAMÓRFICA
CENOZOICO	CUATERNARIO		DPTOS FLUVO-ALUVIALES	Q-fl
			DPTOS COLUMNALES	Q-co
			DPTOS ALUVIONALES	Q-al
MESOZOICO	CRETACEO INFERIOR	VALANGINO	FM. PACCHO TINGO	KI-Pch
			GRUPO CASMA	KI-ca
			FM. CHIMU	KI-ch
				KsTI-To/qzmo TONALITAS/CUARCAS/CONCRETAS
				KsTI-hf HORNELES (CORRENA)

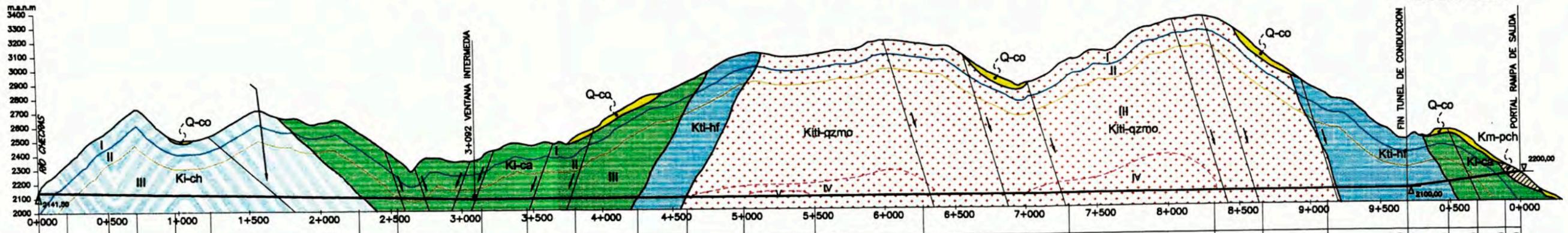
SIMBOLOS TECTONICOS	
	CONTACTO GEOLÓGICO
	CONTACTO GEOLÓGICO INFERIDO
	RUMBO Y BUZAMIENTO
	FALLA GEOLÓGICA
	FALLA GEOLÓGICA INFERIDA
	ANTICLINAL
	SINCLINAL

LEYENDA TOPOGRAFICA	
	CURVAS DE NIVEL A 100M.
	PROYECTO DE TUNEL
	RÍO
	QUEBRADA
	CARRETERA AFIRMADA
	PUENTE TUNEL



01	ACTUALIZACIÓN INFORME GEOLÓGICO GEOTÉCNICO	JByA	FEB.'08
REV. N°	DESCRIPCIÓN	APR.	FECHA
SN POWER PERU			
CENTRAL HIDROELÉCTRICA CHEVES			
ESTUDIO DE FACTIBILIDAD			
GEOLOGIA REGIONAL			CHCHE 203
DIS.	DIB.	REV.	APR. FECHA
C.V.	J.R.	J.B.	J.B. JUL.'06
			JByA Norconsult

PERFIL LONGITUDINAL TÚNEL CONDUCCIÓN



PROGRESIVAS	0+000	0+200	0+500	0+700	0+975	1+225	2+270	2+545	3+140	3+455	3+800	4+250	4+600	5+000	5+500	6+270	7+300	8+320	8+660	9+120	9+690	9+810	0+520	0+310	0+110	0+000	
TRAMOS (m)	200	300	200	275	250	1045	275	595	315	345	450	350	400	500	770	1030	1020	340	460	570	290	210	200	110			
LITOLOGIA	Lu Qz	Lu-Qz	Lu Qz	Lu-Qz	Lu-Qz	Lu-Qz	AND.	ANDESITA	ANDESITA	ANDESITA	ANDESITA	HORNF.	TONALITA	TONALITA	TONALITA	TONALITA	TONALITA	TONALITA	TONALITA	TONALITA	HORNFELS	HORNF.	AND.	AND.	PK.		
R.Q.D	10 30	30-50	10 30	30-50	10-30	30-50	60-80	30-50	60-80	40-60	60-80	30-50	70-90	40-60	70-90	40-60	70-90	40-60	70-90	30-50	70-90	30-50	30-50	60 80	40 60	10 30	
INDICE Q' (*)	0.05 0.5	0.5-5	0.05 0.5	0.5 5	0.05 0.5	0.5-5	10-40	0.5-5.0	10-40	1.0-10	10-40	0.5-5.0	5-30	0.1-1.0	5-30	1-10	5-30	1-10	5-30	0.5-5.0	5-30	0.5-5	0.5-5	10 40	1 10	0.1 1.0	
INDICE RMR' (*)	20 40	35-55	20 40	35 55	20 40	35-55	55-75	30-50	55-75	40-60	55-75	35-55	50-70	30-50	50-70	40-60	50-70	40-60	50-70	30-50	50-70	35-55	35-55	55 75	45 60	25 45	
INDICE GSI	IF/P	MF/R-P	IF/P	MF/R-P	IF/P	MF/R-P	F/B	MF/R-P	F/B	MF/R	F/B	MF/R-P	LF-F/R-B	MF/R-P	LF-F/R-B	F-MF/R-P	LF-F/R-B	MF/R-P	LF-F/R-B	MF/R-P	MF/R-P	F/B	MF/R-P	F/B	MF/R-P	F/P	
RESISTENCIA UNIAxIAL σ_c (MPa)	30 80	60-120	30 80	60 120	30 80	60-120	120 200	70-120	120 200	100-150	120-200	80-120	100-150	100-150	100-150	80-120	100-150	100-150	80-120	100-150	80-120	100-150	80-120	80-120	120 200	80 120	30 50
SOBRECARGA (m)	0 134	134 403	403 580	425 605	365 400	390-590	230 500	180-300	290-390	370-390	435-680	670-810	805-995	970-1005	1005-1080	760-1045	940-1230	980 1220	665-935	350-640	335 380	250 370	70 225	0 70			

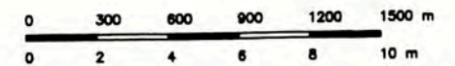
(*) RMR'=Valor del índice RMR sin considerar la corrección por orientación ni la presencia de agua.
Q'=Valor del índice Q sin considerar los factores de corrección por agua (Jw) y por tensiones (SRF).

LEYENDA GEOLÓGICA

- Q-co** DEPÓSITOS COLUMNALES DE CONOS DE ESCOMBROS, FRAGMENTOS Y BLOQUES DE ROCA ANGULOSA
- Kii-hf** CORNEANAS (HORNFELS), ROCA METAMÓRFICA DE GRANO FINO, PRODUCTO DEL METAMORFISMO DE CONTACTO
- Kii-qzmo** STOCK CHURIN BAJO, (TONALITA O CUARZO MONZONITA)
- Km-pch** FORMACIÓN PACCHO-TINGO, INTERCALACIONES DE CAPAS MUY DELGADAS DE ARENSCAS, CON LÁMINAS DE YESO Y LUTITAS, CON ALGUNOS BANCOS CALCAREOS
- Ki-ca** GRUPO CASMA, ANDESITAS BRECHOSAS DE TEXTURA PORFIRÍTICA, EN RANGOS MODERADAMENTE FRACTURADOS Y MUY RESISTENTES
- Ki-ch** FORMACIÓN CHIMÓ, CONSISTENTE EN INTERCALACIONES DE BANCOS DE CUARZITAS, CON ESTRATOS DELGADOS DE ARENSCAS CUARZOSA, LUTITAS BITUMINOSAS Y LENTES OCASIONALES DE CARBÓN

SIMBOLOGIA

- LINEAS DE DIVSIÓN TENSIONAL
- FALLA
- CONTACTO GEOLÓGICO
- TÚNEL DE CONDUCCIÓN
- I ZONA DE RELAJAMIENTO TENSIONAL
- II ZONA DE TENSIONES BAJAS
- III ZONA DE TENSIONES MODERADAS
- IV ZONA DE TENSIONES ALTAS
- V ZONA DE TENSIONES ALTAS Y ANISOTROPICAS



01	ACTUALIZACIÓN INFORME GEOLÓGICO GEOTÉCNICO	JByA	FEB.'08
REV. N°	DESCRIPCIÓN	APR.	FECHA
SN POWER PERU			
CENTRAL HIDROELÉCTRICA CHEVES ESTUDIO DE FACTIBILIDAD			
PERFIL GEOLÓGICO GEOTÉCNICO TÚNEL DE CONDUCCIÓN			CHCHE 210
DIS.	DIB.	REV.	APR.
C.V.	J.R.	C.V.	J.B.
			FECHA JUL.'08
			JByA Norconsult

