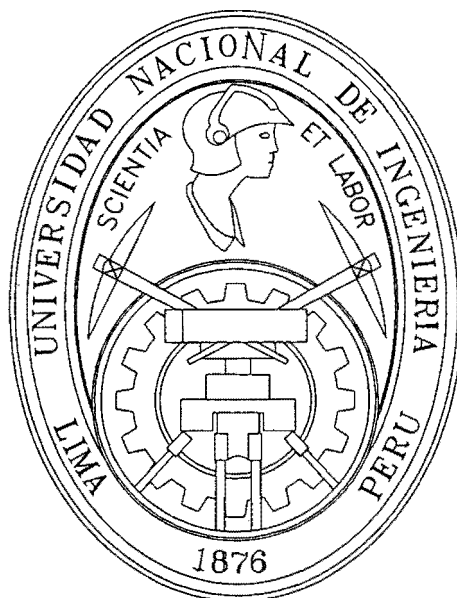


**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA**

**FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA, MINERA Y METALÚRGICA**

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA**



**GEOLOGÍA Y GEOTECNIA DEL ÁREA DE LAS OBRAS DE  
DERIVACIÓN DEL PROYECTO DE OPTIMIZACIÓN DEL  
SISTEMA DE RELAVES DE LA MINA ANDAYCHAGUA**

**UNIDAD ECONÓMICA ADMINISTRATIVA YAULI  
VOLCAN COMPAÑÍA MINERA S.A.A.**

**TESIS**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL  
DE INGENIERO GEÓLOGO**

**PRESENTADO POR:**

**JOSE CARLOS FELIPE SUSANIBAR ARTEAGA**

**LIMA – PERÚ**

**2006**

A MI MADRE, POR TODO LO ME HA DADO,  
A MI ESPOSA POR TODO LO QUE ME DA,  
A MI HIJO POR TODO LO QUE ME DARÁ.  
A MI PADRE POR TODO LO QUE ME DIO.  
Y A MIS MAESTROS POR TODO LO  
ENSEÑADO.

A TODOS LOS QUE ALGUNA VEZ  
CONFIARON EN MI Y A LOS QUE ESPERO  
NO HABER DECEPCIONADO Y LOS QUE  
DECEPCIONARE CON ESTE TRABAJO.

# ÍNDICE

<b>1.- GENERALIDADES</b>	<b>1</b>
1.1    INTRODUCCIÓN	1
1.2    OBJETIVOS Y ALCANCES	
1.2.1    OBJETIVOS	1
1.2.2    ALCANCES	2
1.3    ANTECEDENTES	2
1.4    CONCEPTOS TEÓRICOS	3
1.5    METODOLOGÍA	4
1.5.1    INFORMACIÓN DE CAMPO	4
1.5.2    INFORMACIÓN DE LABORATORIO	6
1.5.2.1    EVALUACIÓN DE LA ROCA INTACTA	6
1.5.2.2    EVALUACIÓN DEL MACIZO ROCOSO	7
1.5.2.3    EVALUACIÓN DE LOS SUELOS	12
1.5.3    INFORMACIÓN DE GABINETE	13
1.6    UBICACIÓN, ACCESIBILIDAD	14
1.7    CONDICIONES GEOGRÁFICAS Y CLIMATOLÓGICAS	15
1.8    INCIDENCIAS EN LAS OPERACIONES MINA	17
1.9    ESTUDIOS Y PROYECTOS ANTERIORES	18
1.9.1    ESTUDIOS ANTERIORES	18
1.9.2    PROYECTOS ANTERIORES	18
1.10   AGRADECIMIENTOS	18
<b>2.- MEMORIA DESCRIPTIVA DEL PROYECTO</b>	<b>20</b>
2.1    INTRODUCCIÓN	20
2.2    DESCRIPCIÓN DE OBRAS A NIVEL DE FACTIBILIDAD	21
2.2.1    OBRAS DE RECRECIMIENTO DE PRESA	21
2.2.2    OBRAS DE CAPTACIÓN	22
2.2.3    OBRAS DE DERIVACIÓN	22
2.2.4    OBRAS DE CONDUCCIÓN	22



2.2.4.1	CANAL DE CONDUCCIÓN	23
2.2.4.2	TÚNEL DE CONDUCCIÓN	23
2.3	INGENIERÍA DE DETALLE	23
2.3.1	OBRAS DE RECRECIMIENTO DE PRESA	24
2.3.2	OBRAS DEL RESERVORIO	24
2.3.3	OBRAS DE CAPTACIÓN	26
2.3.3.1	ALTERNATIVA AGUAS ARRIBA	26
2.3.3.2	ALTERNATIVA DENTRO DEL CUERPO DE LA PRESA	26
2.3.4	OBRAS DE DERIVACIÓN	26
2.3.4.1	CANAL DE DERIVACIÓN	27
2.3.4.2	TÚNEL DE CONDUCCIÓN	29
<b>3.-</b>	<b>GEOLOGÍA Y GEOTECNIA GENERAL</b>	<b>30</b>
3.1	CONDICIONES GEOMORFOLÓGICAS	30
3.2	CONDICIONES LITOLÓGICAS	32
3.2.1	AFLORAMIENTOS ROCOSOS	32
3.2.2	SUELOS	36
3.3	CONDICIONES ESTRUCTURALES	37
3.4	CONDICIONES GEODINÁMICAS	40
3.5	CONDICIONES GEOTÉCNICAS	41
3.6	CONDICIONES HIDROGEOLOGÍAS	42
3.6.1	EVALUACIÓN PLUVIOMÉTRICA Y DE EVAPORACIÓN	44
3.6.1.1	FUENTES DE INFORMACIÓN	44
3.7	CONDICIONES GEOTECTÓNICAS Y SÍSMICAS	51
<b>4.-</b>	<b>GEOLOGÍA Y GEOTECNIA DE LAS ALTERNATIVAS</b>	<b>53</b>
4.1	RESERVORIO	53
4.2	OBRAS DE CAPTACIÓN	53
4.3	OBRAS DE CONDUCCIÓN	54
4.3.1	CANAL CONDUCCIÓN	54

4.3.1.1 ALTERNATIVA CANAL PROGRESIVA 640.00	55
4.3.1.2 ALTERNATIVA CANAL PROGRESIVA 860.00	55
4.3.2 TÚNEL DE CONDUCCIÓN	55
4.3.2.1 ALTERNATIVA TUNEL PROGRESIVA 273.00	56
4.3.2.2 ALTERNATIVA TUNEL PROGRESIVA 404.00	56
<b>5.- INVESTIGACIÓN DE CAMPO Y GABINETE</b>	<b>57</b>
5.1 ESTUDIOS DE SUELOS	57
5.2 GEOMECÁNICA DEL TÚNEL TEMPORAL DE DERIVACIÓN	57
5.2.1 CONDICIONES GEOMECÁNICAS Y SOSTENIMIENTO INFERIDO	57
5.2.2 CONDICIONES GEOMECÁNICAS Y SOSTENIMIENTO ENCONTRADO	58
5.2.3 MAPEOS DE ARCO REBATIDO	58
5.2.4 PROYECCIÓN DE LAS EXCAVACIONES EN LAS ALTERNATIVAS DEL TÚNEL TEMPORAL DE DERIVACIÓN	59
5.3 ESTUDIOS DE MECÁNICAS DE ROCAS	59
5.3.1 ENSAYOS PETROGRÁFICOS	59
5.3.2 ENSAYOS DE CARGA PUNTUAL	63
5.3.3 ENSAYOS DE MODULO DE ELASTICIDAD	63
5.4 DETERMINACIÓN DE LOS PARÁMETROS GEOTÉCNICOS EN LA INGENIERÍA DE DETALLE Y LAS ESPECIFICACIONES TÉCNICAS.	63
<b>6.- ANÁLISIS DE COSTOS COMPARATIVOS Y DESCRIPCIÓN DE ALTERNATIVA SELECCIONADA</b>	<b>65</b>

6.1	PRINCIPALES PARTIDAS CONSIDERADAS	65
6.2	COSTOS POR ALTERNATIVA PARA EL CANAL Y EL TÚNEL DE DERIVACIÓN	66
6.3	CARACTERÍSTICAS Y COSTOS DE LA ALTERNATIVA SELECCIONADA	68
6.3.1	CANAL DE CONDUCCIÓN	68
6.3.2	TÚNEL DE CONDUCCIÓN	68
<b>7.-</b>	<b>CONCLUSIONES</b>	<b>70</b>
7.1	RESERVORIO	70
7.2	OBRAS DE CAPTACIÓN	70
7.3	OBRAS DE DERIVACIÓN	71
7.3.1	CANAL DE CONDUCCIÓN	71
7.3.2	TÚNEL DE CONDUCCIÓN	72
7.4	CONCLUSIONES COMPLEMENTARIAS	73
<b>8.-</b>	<b>RECOMENDACIONES</b>	<b>74</b>
8.1	RESERVORIO	74
8.2	OBRAS DE CAPTACIÓN	74
8.3	OBRAS DE DERIVACIÓN	74
8.3.1	CANAL DE CONDUCCIÓN	75
8.3.2	TÚNEL DE CONDUCCIÓN	75
8.4	RECOMENDACIONES COMPLEMENTARIAS	76
<b>9.-</b>	<b>ANEXOS</b>	<b>77</b>
9.1	RESULTADOS DE INVESTIGACIONES IN SITU	77
9.1.1	DESCRIPCIÓN DE CALICATAS	77
9.1.2	MEDICIONES DE DISCONTINUIDADES	91
9.1.3	PROYECCIONES ESTEREOGRÁFICAS	94
9.1.4	TABLAS Y CUADROS	105
9.2	PLANO DE UBICACIÓN	113
9.3	INFORMACIÓN FOTOGRÁFICA	115

9.4	PLANOS	138
9.4.1	GEOLOGÍA REGIONAL	139
9.4.2	DISPOSICIÓN GENERAL (PLANTA)	140
9.4.3	GEOLOGÍA Y GEOTECNIA DEL PROYECTO	141
9.4.4	GEOLOGÍA Y GEOTECNIA DE LAS OBRAS DE CAPTACIÓN	142
9.4.5	GEOLOGÍA Y GEOTECNIA DEL CANAL	143
9.4.6	SECCIONES Y PERFIL LONGITUDINAL DEL CANAL	
	9.4.6.1 PERFIL LONGITUDINAL DEL CANAL DEFINITIVO	144
	9.4.6.2 SECCIONES TRANSVERSALES CANAL DEFINITIVO	145
9.4.7	GEOLOGÍA Y GEOTECNIA DEL TÚNEL	146
9.4.8	PERFIL LONGITUDINAL DE LAS ALTERNATIVAS DEL TÚNEL	
	9.4.8.1 PERFIL LONGITUDINAL TÚNEL PROGRESIVA 273.00	147
	9.4.8.2 PERFIL LONGITUDINAL TÚNEL PROGRESIVA 404.00	148
9.5	INFORMACIÓN BIBLIOGRAFÍA	149

## **1.- GENERALIDADES**

### **1.1 INTRODUCCIÓN**

La disposición final de los residuos del proceso de concentración del mineral extraído de interior mina, ha sido y será, en los próximos años, un grave problema ecológico y operacional, ya que cada vez mas, los requisitos legales, se hacen mas estrictos impidiendo la apertura de manera indiscriminada de canchas de relaves, o relaveras, por lo que la optimización de estas, es de suma importancia, si permitían la ampliación en condiciones técnicas y económicas factibles dentro de medidas de seguridad adecuadas.

El presente trabajo de tesis, se realiza como parte del proyecto de optimización del sistema de relaves de la mina Andaychagua, que comprende las obras de derivación de la quebrada Andaychagua y el recrecimiento de la presa de relaves existente, con el objetivo de ampliar la capacidad de la relavera, analizándose las condiciones de geología y geotecnia de las obras propuestas con este fin.

En este estudio se plantean diversas alternativas para las obras de derivación a ejecutarse, con la finalidad de poder evaluarlas desde un aspecto técnico y económico dándole un mayor énfasis al entorno geológico-geotécnico en el cual se emplazaran las mismas, incluyendo en el capítulo de conclusiones y recomendaciones la alternativa seleccionada.

### **1.2 OBJETIVOS Y ALCANCES**

#### **1.2.1 OBJETIVOS**

La presente tesis tiene como primer objetivo, realizar un estudio geológico-geotécnico general de las alternativas de Obras de Derivación consideradas

dentro del Proyecto de Optimización del Sistema de Relaves de la Mina Andaychagua, además, se incorpora en este trabajo un capítulo con el análisis comparativo de costos preliminar que permitiría definir la mejor alternativa desarrollada en este estudio.

El segundo objetivo es la definición de la alternativa seleccionada que incluye las Especificaciones Técnicas Generales de las obras y su relación con las condiciones geotécnicas en las que se emplazan.

Y como objetivo final del presente trabajo se plantea la obtención del grado de Ingeniero Geólogo, de la Universidad Nacional de Ingeniería, por parte del autor.

### **1.2.2 ALCANCES**

Este trabajo tiene como alcance lograr una evaluación desde el punto de vista geológico de las diferentes alternativas que se pueden presentar a lo largo de un proyecto específico, así como la definición de los parámetros geotécnicos requeridos para la elaboración de la ingeniería de detalle.

Se plantea también la importancia de la variable de costos de un proyecto, así como su rápido análisis a nivel preliminar, que conduce a la evaluación final de la alternativa a ser desarrollada para la ejecución de los estudios definitivos y su posterior ejecución.

### **1.3 ANTECEDENTES**

Como consecuencia del colapso sufrido por las obras de la nueva presa de relaves de Andaychagua, ocurrido el 25 de enero de 2001, en el cual se vieron seriamente comprometidas las obras que se venían ejecutando, se plantea, la necesidad de reevaluar todos los trabajos realizados a la fecha que incluían: canal de derivación, presa, y todas las obras de derivación temporal; y la posibilidad de realizar un recrecimiento de entre 7 a 10 m de la presa de relaves que se venía

empleando, ante la eventualidad de no poder culminar las obras de la nueva presa antes del plazo necesario (noviembre del 2001), debido principalmente a los problemas contractuales y de seguros que surgieron a raíz del colapso antes mencionado.

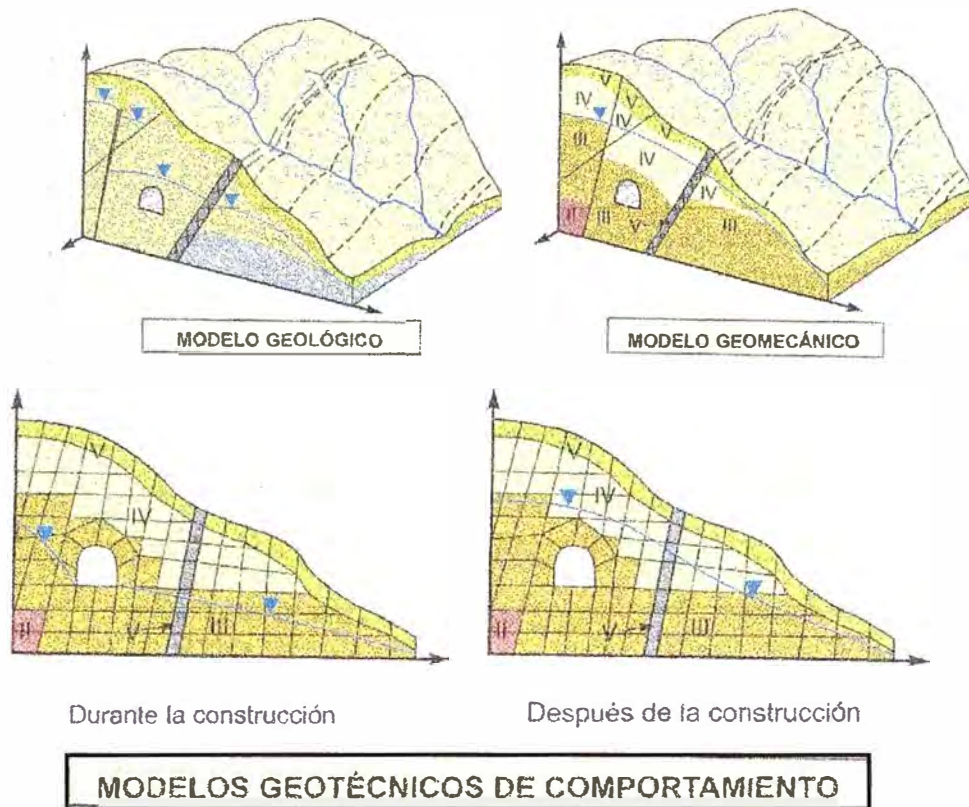
Dentro de los estudios del posible recrecimiento de la presa de relaves, se ve la necesidad de ejecutar en forma simultanea los estudios relacionados a la ejecución de una nueva derivación de las aguas del río Andaychagua, las mismas que en la actualidad venían siendo canalizadas por un canal que pasaba por el flanco izquierdo de la cancha de relaves, y a una cota inferior al actual espejo de agua, por lo que, cualquier recrecimiento sería poco factible, sino se considerara la eliminación de dicho canal de derivación.

#### **1.4 CONCEPTOS TEÓRICOS**

Como parte inicial de esta tesis trataremos primeramente de explicar de manera breve y a la vez lo más didácticamente, posible los conceptos teóricos empleados en la realización del mismo, a fin de que, sirva como un material de consulta para trabajos posteriores en esta materia.

El principal concepto que se podría discutir en este trabajo es la diferenciación de un modelo Geológico, modelo Geomecánico y modelo Geotécnico de Comportamiento.

El Modelo Geológico representa la distribución espacial de los materiales, estructuras tectónicas, datos geomorfológicos e hidrogeológicos, entre otros, presentes en el área de estudio y su entorno de influencia. El Modelo Geomecánico representa la caracterización geotécnica e hidrogeológica de los materiales y su clasificación geomecánica. El Modelo Geotécnico de Comportamiento representa la respuesta del terreno durante la construcción y después de la misma.



Ante esta amplitud de temas se ha preferido realizar la explicación respectiva en cada uno de los Ítems ya que cabe indicar que le presente trabajo se involucran temas relacionados a ejecución de Presas de Agua, Obras de Derivación, canales y caminos de mantenimiento, y túneles.

## 1.5 METODOLOGÍA

En este punto se explicaran los diferentes pasos seguidos durante la ejecución del estudio, así como la importancia de cada uno de estos en la realización del mismo.

### 1.5.1 INFORMACIÓN DE CAMPO

La información de campo ha sido recolectada entre los meses de marzo a julio de 2001, y esta se basa en:



- **Mapeos Geológicos.**- Son la representación cartográfica de la información de los afloramientos de las rocas, su edad, las estructuras geológicas, los yacimientos minerales, los yacimientos petrolíferos, es decir contiene toda la información geológica del área que cubre el mapa. Los mapas geológicos se elaboran mediante una simbología definida en convenciones nacionales e internacionales, utilizando líneas y rectas con características específicas y colores determinados.

- **Mapeos Geomecánico - Geotécnicos.**- Constituyen un método en ingeniería geológica para presentar cartográficamente información geológico-geotécnica con fines de planificación y uso del territorio y para el proyecto, construcción y mantenimiento de obras de ingeniería; aportan datos sobre las características y propiedades del suelo y del subsuelo de una determinada zona para evaluar su comportamiento y prever los problemas geológicos y geotécnicos.

- **Líneas de Detalle.**- Constituyen un trabajo especializado con la finalidad de determinar las características de los diferentes sistemas o familias de discontinuidades existentes en la zona de trabajo y las orientaciones de los mismos. Toda la información recolectada se presenta en un formato adecuado y es procesada manualmente mediante programas especializados.

- **Calicatas.**- Las calicatas o zanjas, consisten en excavaciones realizadas mediante medios mecánicos convencionales, que permiten la observación directa del terreno a cierta profundidad, así como la toma de muestras y la realización de ensayos in situ.

Tienen la ventaja de que permiten acceder directamente al terreno, pudiéndose observar las variaciones litológicas, estructura, discontinuidades, etc., así como tomar muestras de gran tamaño para la realización de ensayos y análisis.

Las calicatas son uno de los métodos más empleados en el reconocimiento superficial del terreno, y dado su bajo costo y rapidez de

realización, constituyen un elemento habitual en cualquier tipo de investigación in situ. Sin embargo, cuentan con las siguientes limitaciones:

- La profundidad no suele exceder de 4 m.
- La presencia de agua limita su utilidad.
- El terreno debe poderse excavar con medios mecánicos.

Para su ejecución es imprescindible cumplir las normas de seguridad frente a derrumbes de las paredes, así como cerciorarse de la ausencia de instalaciones, cables, etc.

## 1.5.2 INFORMACIÓN DE LABORATORIO

La información de Laboratorio recolectada durante el presente trabajo, se ha subdividido en dos grandes grupos: Evaluación de los Macizos Rocosos y Evaluación de Suelos.

### 1.5.2.1 EVALUACIÓN DE LA ROCA INTACTA

Las muestras de mano, sin presencia de discontinuidades que corresponden a una roca intacta, fueron utilizadas, para la evaluación de los diferentes tipos de roca encontrados en el área, fueron sometidas a los siguientes ensayos.

• **Ensayos de Carga Puntual.**- Para la determinación de la resistencia, también denominado PTL (Point Load Test) o ensayo Franklin. Se utiliza para determinar la resistencia a compresión simple de fragmentos irregulares de roca o testigos cilíndricos de sondeos, a partir del índice  $I_s$  obtenido en el ensayo. Los resultados son más fiables si se ensayan testigos. El ensayo no está indicado para rocas blandas o con anisotropía muy marcada (esquistos, pizarras, etc.).

• **Modulo de Young.**- Denominado con la Letra E, define la relación lineal elástica entre el esfuerzo aplicado y la deformación producida en la dirección de aplicación del esfuerzo, se obtiene a partir de un ensayo de

compresión simple y define las características de la deformación elástica “estática” de la roca.

En el campo elástico, la deformación es proporcional al esfuerzo y se cumple la relación:

$$E = \sigma / \varepsilon_{ax} \text{ (unidades de esfuerzo)}$$

Donde E es la constante de proporcionalidad o modulo de Young,  $\sigma$  es el esfuerzo aplicado, y  $\varepsilon_{ax}$  es la deformación axial, en la misma dirección que la fuerza aplicada.

• **Coefficiente de Poisson.**- Junto con el valor del modulo de Young define el comportamiento elástico del material rocoso, define la relación entre la deformación transversal y axial.

$$\nu = \varepsilon_t / \varepsilon_{ax} \text{ (adimensional)}$$

Una roca dura con comportamiento frágil presenta mayor módulo de Young y menor coeficiente de Poisson que una roca blanda con comportamiento dúctil.

• **Estudio Microscópico Petrográfico.**- Mediante el estudio microscópico de láminas delgadas de roca y mediante la determinación de los minerales presentes se logra determinar con precisión el tipo y nombre de la roca.

Este último estudio se realizo principalmente para obtener con mayor certeza el tipo de roca presente en el área, y se centro principalmente en la definición del mármol encontrado en la zona.

### 1.5.2.2 EVALUACIÓN DEL MACIZO ROCOSO

Se realiza en los diferentes afloramientos en los que se emplazarían las obras de captación, conducción y túnel, en las cuales se aprovecho de determinar las propiedades de las discontinuidades, que asociadas a los resultados de la

evaluación de la roca intacta, mediante los ensayos mencionados en el punto anterior, nos permiten definir las condiciones del macizo rocoso, los parámetros evaluados fueron los siguientes:

- **Orientación.**- La orientación de una discontinuidad en el espacio viene definida por la dirección de la línea de máxima pendiente del plano de discontinuidad respecto al Norte, y por la inclinación respecto a la horizontal de dicha línea. Es lo que se denomina dirección de buzamiento y buzamiento.

- **Sistemas de Discontinuidades.**- El número de sistemas de discontinuidades condiciona de forma importante el aspecto del macizo rocoso y su comportamiento mecánico. La orientación de las diferentes sistemas o familias con respecto a una obra o instalación sobre el terreno condiciona, además, la estabilidad o inestabilidad de la misma.

- **Espaciamiento.**- Es la distancia entre dos planos de discontinuidad consecutivos y de una misma familia o sistema, medida esta en la dirección perpendicular a dichos planos. El espaciamiento de las discontinuidades influye en el comportamiento del macizo y define el tamaño de los bloques de matriz rocosa.

Si el espaciamiento es pequeño, es decir la red de facturación es muy densa, la resistencia del macizo rocoso disminuye de forma considerable, pudiendo en casos extremos presentar un comportamiento típico de materiales granulares.

- **Persistencia.**- La persistencia de un plano de discontinuidad es su longitud o extensión superficial observada. Es un parámetro de gran importancia pero de difícil cuantificación a partir de la observación de un afloramiento.

La longitud o persistencia de la discontinuidad visible en un afloramiento puede ser mayor que este o terminar dentro del mismo. En el segundo caso hay que precisar si termina contra otra discontinuidad o en la matriz rocosa.

- **Abertura.**- La distancia perpendicular que separa las paredes adyacentes de una discontinuidad cuando no existe material de relleno se denomina abertura.

La abertura de las discontinuidades varía mucho en función de las zonas del macizo rocoso. En superficie puede ser elevada, pero según se profundiza suele decrecer hasta cerrarse o reducirse a unas pocas décimas de milímetro.

Su influencia en la resistencia al corte es importante incluso en discontinuidades con muy poca abertura, al modificar las tensiones efectivas que actúan sobre las paredes.

- **Relleno.**- El relleno es el material de naturaleza distinta a la roca que aparece entre las dos paredes de una discontinuidad. Cuando existe relleno, la distancia entre las dos superficies adyacentes se suele denominar anchura a diferencia de las discontinuidades sin relleno, en las que se denomina abertura, tal como se describe en el punto anterior.

La presencia de relleno gobierna el comportamiento de la discontinuidad, por lo que deben ser descritos y registrados todos los aspectos referentes a sus propiedades y estado, teniendo en cuenta, además, que si se trata de materiales blandos o alterados éstos pueden sufrir variaciones importantes en sus propiedades resistentes a corto plazo si varía su contenido en humedad o si tiene lugar algún movimiento a lo largo de las juntas.

- **Rugosidad y Ondulación.**- La rugosidad de la superficie de una discontinuidad es un parámetro importante ya que determina en parte la resistencia al corte de la misma. A mayor rugosidad mayor es la resistencia de los planos de discontinuidad; de hecho, la medida de este parámetro se determina para estimar la resistencia al corte de discontinuidades. La influencia de la rugosidad decrece con el aumento de la abertura, con el espesor de relleno y con el desplazamiento experimentado entre las paredes.

El término rugosidad se emplea en sentido amplio para hacer referencia tanto a la ondulación de las superficies de discontinuidad como a las irregularidades o rugosidades a pequeña escala (milimétrica o centimétrica) presentes en los planos.

La descripción de la rugosidad requiere, pues, dos escalas de observación:

- Escala dicimétrica y métrica para observar la “ondulación” de las superficies (superficies planas, onduladas y escalonadas).
- Escala milimétrica o centimétrica para definir la “rugosidad” o irregularidad (superficies pulidas, lisas y rugosas).

Durante los procesos de desplazamiento por corte a favor de las discontinuidades, la presencia de ondulaciones causa dilatación en sentido normal al plano de discontinuidad; las rugosidades a menor escala resultan fracturadas o rotas.

La rugosidad y ondulación pueden controlar las posibles direcciones de desplazamiento en los planos, gobernando la resistencia al corte para las distintas direcciones. Su influencia en la resistencia al corte de las discontinuidades puede ser determinada en el laboratorio.

La resistencia al corte de una discontinuidad rugosa depende de la dirección del desplazamiento, pudiendo ser muy variable según esta dirección coincida con las rugosidades o sea transversal a ellas.

• **Alteración de Paredes.**- El grado de alteración o meteorización debe ser estimado para el macizo rocoso en su conjunto. Se precisa de la observación directa de la roca, aunque en ocasiones será necesario fragmentar un trozo de roca para observar la alteración de la matriz rocosa.

En el ámbito de macizo rocoso se aplican los índices descritos a continuación:

- Fresco.- No aparecen signos de meteorización.

- Ligeramente alterado.- La decoloración indica alteración del material rocoso y de las superficies de discontinuidad. Todo el conjunto rocoso está decolorado por alteración.

- Moderadamente alterado.- Menos de la mitad del macizo rocoso aparece descompuesto y/o transformado en suelo. La roca fresca o decolorada aparece como estructura continua o como núcleos aislados.

- Altamente alterado.- Más de la mitad del macizo rocoso aparece descompuesto y/o transformado en suelo. La roca fresca o decolorada aparece como estructura continua o como núcleos aislados.

- Completamente alterado.- Todo el macizo rocoso aparece descompuesto y/o transformado en suelo. Se conserva intacta la estructura original del macizo rocoso.

- Suelo residual.- Todo el macizo rocoso se ha transformado en un suelo. Se ha destruido la estructura del macizo rocoso y la fábrica del material.

- **Presencia de Agua.**- El agua que se infiltra en un macizo rocoso procede en su mayor parte del flujo que circula por las discontinuidades (permeabilidad secundaria). EN ciertas rocas sedimentarias las filtraciones a través de la matriz rocosa (permeabilidad primaria) puede ser también importante.

- **Forma y Tamaño del Bloque Unitario.**- La forma y el tamaño de los bloques unitarios de roca intacta que forman en macizo rocoso condiciona el comportamiento geomecánico del mismo. La forma y dimensión de los bloques están definidas por el número de familias de discontinuidades, por su espaciamiento y su persistencia.

### 1.5.2.3 EVALUACIÓN DE LOS SUELOS

- **Análisis Granulométricos.**- A fin de conocer la proporción de cada material que tiene un suelo (Gravas, Arenas, Limos y Arcillas), se realizan análisis granulométricos, utilizando la vía seca para tamaños superiores a 0.075 mm, y la granulometría por sedimentación mediante el hidrómetro (vía húmeda) para tamaños iguales o inferiores a 0.075 mm.

En este estudio se realizó el primero de los análisis mencionados tomando una muestra representativa del suelo, secándola y disgregando en seco el conjunto de partículas. A esta muestra se le hace pasar por un conjunto de tamices (cuyo tamaño disminuye en progresión geométrica de razón 2), agitando el conjunto.

Después se pesa lo retenido en cada tamiz, con lo que conocido el peso inicial de la muestra, se determina el porcentaje de material que pasa por determinado tamiz. Con estos datos se puede elaborar la curva granulométrica de un suelo.

- **Índices de Atterberg.**- La granulometría proporciona una primera aproximación a la identificación del suelo, pero a veces, queda poco claro (por ejemplo: arena limo-arcillosa), por lo que se utilizan unos índices, derivados de la agronomía, que definen la consistencia del suelo en función del contenido de agua, a través de la determinación de la humedad: peso del agua del suelo dividido por el peso del suelo seco (el peso de agua se determina por diferencia entre el peso de la muestra antes y después de secarlo en estufa el tiempo necesario para que se evapore esa agua).

A este respecto, Atterberg definió tres límites: el de retracción o consistencia que separa el estado de sólido seco y el semisólido, el límite plástico,  $W_p$  que separa el estado semisólido del plástico y el límite líquido,  $W_L$ , que separa el estado plástico del semilíquido; estos dos últimos límites (los más usados en la práctica) se determinan con la fracción de suelo que pasa por el tamiz n.º 40 A.S.T.M (0.1 mm).



- **Proctor Estandar.**- Este ensayo se utiliza para determinar la densidad seca máxima de un suelo y la humedad óptima para la cual se alcanza esta densidad. Se emplea un molde de un litro que se llena con tres capas del material a ensayar, y se compacta golpeando un número determinado de veces con una maza que aplica siempre la misma energía. Para realizar el ensayo se preparan varias muestras que, después de desecarlas, se humedecen con diferente contenido de humedad. Tras el ensayo se calcula la densidad seca de cada muestra; con cinco o seis determinaciones puede definirse una curva densidad seca-humedad, obteniéndose el valor máximo que representa las condiciones óptimas de compactación (densidad seca máxima y humedad óptima).

- **Peso unitario.**- También conocido como peso específico depende de los componentes del suelo y se define como el peso por unidad de volumen. Sus unidades son las de fuerza (kilopondio, newton, tonelada-fuerza, etc.) por volumen. En general se considera el mismo valor para el peso específico,  $\gamma$ , y para la densidad,  $\rho$  ( $\rho = \text{masa/volumen}$ ), por lo que en ocasiones en la bibliografía geotécnica se emplea el término “densidad” aunque se este haciendo referencia al peso específico.

- **Compactación In situ.**- Estos ensayos sencillos y económicos permiten estimar la resistencia a la penetración de los suelos en función de la profundidad. Cuando se dispone de información geológica (sondeos o calicatas en zonas próximas) se pueden correlacionar las diferentes capas de suelos.

### 1.5.3 INFORMACIÓN DE GABINETE

La información de gabinete consta de la interpretación de cada uno de los datos obtenidos durante los trabajos de campo y laboratorio. Así como de la elaboración de los respectivos planos y secciones a fin de complementar el informe escrito.

En el procesamiento para la interpretación de los datos obtenidos en los mapeos de línea de detalle, se empleo los programas DIPS.

## 1.6 UBICACIÓN, ACCESIBILIDAD

La Unidad de Producción Andaychagua está ubicada políticamente en el Anexo de San José de Andaychagua, Distrito de Huay-Huay, Provincia de Yauli, Departamento de Junín, en la zona central del Perú. La unidad se encuentra aproximadamente sobre los 4400 m de altitud.

La concesión de beneficio comprende un área de 96 has., delimitada por las coordenadas definidas en la Resolución Ministerial 122-93-EM/DGM las que se muestran en la Tabla adjunta. Actualmente todas las instalaciones existentes de la UP están dentro de los límites de propiedad. La ampliación de la concesión tuvo precisamente como uno de sus objetivos regularizar esta situación.

### LÍMITES DE LA CONCESIÓN DE BENEFICIO ANDAYCHAGUA

VÉRTICE	NORTE	ESTE
1	8,701,800.21	390,135.94
2	8,700,957.77	391,310.31
3	8,700,454.39	392,288.37
4	8,700,287.76	392,202.57
5	8,700,512.91	391,765.70
6	8,700,723.85	391,125.18
7	8,701,591.29	389,855.14
8	8,702,152.90	389,437.29
9	8,702,361.82	389,718.09

La UP Andaychagua queda 181 Kms. al sureste de Lima y 53 Kms. al sur de la Oroya. Su acceso desde Lima es a través de la Carretera Central, llegando hasta el desvío de Yauli, mediante carretera asfaltada (paraje Calera "Cut-Off"), de donde parte una carretera afirmada de 45.4 Kms. que pasa por la localidad de Pachachaca y atraviesa en su trayecto los campamentos de Mahr Túnel, Carahuacra y San Cristóbal, llegando hasta la UP Andaychagua.

Otra vía de acceso es por la carretera del Valle del Mantaro, pasando por la localidad de Huari, a una distancia de 33 Kms.

Andaychagua se encuentra a 8 Kms. de los tajos Toldorumi y a 33 Kms. de Mahr Túnel.

Se debe indicar que las obras materia del presente trabajo se inician en el anexo de Chasquipampa a 1.5 Kms. de la bocamina de Andaychagua, siguiendo el camino que conduce a Huayhuay.

## **1.7 CONDICIONES GEOGRÁFICAS Y CLIMATOLÓGICAS**

La UP Andaychagua está ubicada en el flanco Este de la Cordillera Occidental de los Andes Centrales, aproximadamente a 13 Kms. de la divisoria continental, a una altitud, promedio de 4477 msnm El área drena hacia el Océano Atlántico mediante varios ríos cuyos cauces corren de SO a NE y de O a E, según su avenamiento dentrítico. Todos los ríos son de régimen temporal y discurren por valles y laderas.

En el valle del Río Yanachaja se ubica la mina Toldorumi y en el valle del Río Andaychagua las demás instalaciones. El valle Andaychagua tiene forma de U y es de origen glacial, con flanco y fondo de relieve irregular.

A lo largo del eje del sector la zona tiene pendientes de 15 a 17° y el fondo 90 m de ancho en la cota de 4360 msnm. En la parte central del valle, el río ha labrado su actual cauce en forma de un cañón angosto y de paredes verticales, por donde circula el agua ocupando la parte inferior de la garganta. Esta morfología está asociada a la presencia de bancos de caliza que tienen mayor resistencia a la erosión que las pizarras y esquistos. El valle está modelado en rocas metamórficas y volcánicas que posteriormente fueron tapizadas por depósitos glaciales y aluviales.

Los flancos, por encima de la cota 4400 msnm están interrumpidos por escalones de menor pendiente, incrementando así el ancho del valle hasta 490 m en la cota 4410 msnm.

En la zona ocupada por la planta concentradora, la geometría de los flancos del valle es similar siendo las terrazas laterales del río más anchas. La llanura de la terraza en la margen derecha está conformada por dos niveles, de 200 m y 400 m de ancho, en las cotas 4380 y 4400 msnm, respectivamente. La margen izquierda tiene aproximadamente 300 m de ancho, ondulada y con una suave inclinación hacia el río.

El Río Andaychagua en esta zona tiene una orientación noroeste a sureste y está limitado por cerros hacia el noreste y sudoeste con cimas entre 5000 y 5200 msnm. En sus nacientes, el río alcanza 4850 msnm y en el área del proyecto tiene una pendiente aproximada de 5.2% y una altura promedio de 4400 msnm. En su transcurso por el área de influencia física del proyecto, hay cuatro afluentes principales que descargan por la margen derecha denominados Ancapampa, Anima, Yanachaja (cuya confluencia coincide con el pueblo de San José de Andaychagua) y Lacsacocha, cuya confluencia coincide aproximadamente con el pueblo de Trapiche donde el Río Andaychagua cambia su orientación hacia el noroeste. Dos afluentes descargan por la margen izquierda siendo estos Tucuhujamanpampa y Recuay Chico.

El clima de la zona es en general frío y seco, con baja humedad relativa del aire, como corresponde a la región de Puna, con presencia estacional de grandes precipitaciones. Las principales condiciones climatológicas que caracterizan al área son las mostradas en la Tabla correspondiente, medidas en la estación meteorológica ubicada 30 m al norte de la tolva de gruesos, con coordenadas N 8702060 y E 389420.

El patrón de precipitaciones en Andaychagua es característico de lo observado en la sierra central del Perú, con dos estaciones claramente diferenciadas: una temporada de lluvias que se extiende entre los meses de noviembre y abril, concentrando cerca del 80% de la precipitación media anual, y una época de estiaje que se extiende entre los meses de mayo y octubre, con un período bastante seco entre junio y agosto.

Es también una característica de la zona las bajas temperaturas que se presentan, con fuertes gradientes diarios a lo largo de todo el año. Este clima eminentemente frío da origen también a la formación de nieve o hielo glacial en la línea de cumbres entre los meses de junio y agosto principalmente, con los consiguientes deshielos entre enero y marzo, cuando la temperatura se eleva un poco.

### PRINCIPALES CARACTERÍSTICAS CLIMATOLÓGICAS

Características	Valor
Temperatura Máxima	17.0 °C
Promedio Verano	15.0 °C
Promedio Invierno	10.0 °C
Precipitación Annual Máximo	834.0 mm
Dirección Predominante	0
Velocidad Máxima	36 km/h
Evaporación	3.3 cc/hora

Fuente: PAMA para la UDP Andaychagua, Centromin, 1996.

### 1.8 INCIDENCIAS EN LAS OPERACIONES MINA

Las operaciones de la Mina Andaychagua, se realizaban en forma continua a un ritmo de procesamiento de 2200 tms de mineral tratado al día, este ritmo de tratamiento se ha incrementado en los últimos años, por lo que no se prevé un incremento en este ritmo de tratamiento.

Se prevé que manteniendo este ritmo de tratamiento se genere un promedio de 58000 tms de relave mensual, lo que daría un tiempo de vida útil a la presa de 6 años; cabe mencionar en este punto que en la actualidad los requerimientos de relleno de la mina se calculan de en 22000 tms, los cuales utilizan una cantidad de 11000 tms de relleno cicloneado, dejando para la acumulación en la cancha de relaves una cantidad de 47000 tms con lo que el tiempo de vida de la misma se ve incrementado en aproximadamente 8 años.

## **1.9 ESTUDIOS Y PROYECTOS ANTERIORES**

### **1.9.1 ESTUDIOS ANTERIORES**

Los estudios anteriores en el área se centran en la ejecución de la presa de relaves en la época de inicios de la Explotación por parte de Centromin Perú, de los cuales no se encontró mayor información, encontrándose únicamente copia de los planos de ese proyecto.

Posteriormente Volcan ante la próxima colmatación de la presa, encarga a las empresas Klohn Clippen – SVS, el estudio, diseño de una nueva presa, que permitiría la continuación de las operaciones por un plazo no menor de 15 años, dichos estudios no fueron de disponibilidad durante la ejecución de este trabajo, debido a los problemas legales surgidos luego del deslizamiento de enero del 2001.

### **1.9.2 PROYECTOS ANTERIORES**

Como se menciona en el acápite anterior en el área se planteo la ejecución de una nueva presa de relaves, las obras estuvieron a cargo de la empresa Sagitario S.A., bajo la supervisión de las empresas Klohn Clippen - SVS.

Estas obras incluyen una alternativa de captación, conducción y derivación de las aguas de los rios Huayhuay y Andaychagua, que incluían, una toma en la zona cercana a la planta concentradora, un canal de derivación en la parte alta del valle, que debería unirse al canal de derivación existente y una presa ubicada muy cerca al borde de la actual cancha de relaves.

## **1.10 AGRADECIMIENTOS**

Cabe mencionar este acápite el agradecimiento a las personas que nos apoyaron durante la ejecución de los trabajos de campo y gabinete, así como a la

Gerencia de Operaciones de Volcan Compañía Minera S.A.A. Unidad Yauli por la oportunidad de realizar el presente trabajo en la persona del Ing. Enrique Ramirez Ostolaza.

## **2.- MEMORIA DESCRIPTIVA DEL PROYECTO**

### **2.1 INTRODUCCIÓN**

Debido a que el depósito existente de relaves Andaychagua, estaba próximo a su nivel de colmatación, Volcán Compañía S.A.A. requiere realizar un levantamiento de la presa de relaves entre 7 y 10 metros sobre la cota de coronamiento actual, motivo por el se realizo un estudio de diversas alternativas que permitan dicho levantamiento.

Durante el estudio desarrollado se observó que para el recrecimiento de la presa se requería modificar el Sistema de Derivación que se tenía del río Andaychagua, por lo cual Volcan Compañía Minera S.A.A requería la evaluación de las distintas alternativas que permitirían la derivación definitiva del río Andaychagua, así como una evaluación inicial de obras necesarias.

Dentro de estas alternativas se plantean las siguientes obras:

- Levantamiento del nivel de la corona en 10m, de la actual presa de relaves.
- Desvío del canal de derivación existente (que evacua por el estribo izquierdo), a través de un túnel de aproximadamente 100 m de longitud, a objeto de poder construir los rellenos del levantamiento de la presa.
- Construcción de un nuevo canal de derivación (definitivo) con su obra de toma correspondiente, por la ladera izquierda de la presa y evacuando a través de un túnel de aproximadamente 250m de longitud.
- Construcción de un aliviadero de emergencia en el estribo izquierdo de la presa, a objeto de asegurar que en caso de una obstrucción del canal de derivación definitivo, el agua pueda ser canalizada adecuadamente y sin riesgo para la presa.



## **2.2 DESCRIPCIÓN DE OBRAS A NIVEL DE FACTIBILIDAD**

### **2.2.1 OBRAS DE RECRECIMIENTO DE PRESA**

La actual presa Andaychagua se ubica aproximadamente en la cota 4354 y su pié en la cota 4300. La geometría de la presa incluye tres bancos en el talud de aguas abajo, a elevaciones aproximadas de 4325; 4316 y 4310. El talud de aguas abajo de la presa presenta inclinaciones aproximadas de  $H/V:1,3/1$  entre cada banco y una inclinación media general de  $H/V:1,6:1$ . Su corona presenta un ancho de 14 m y una longitud aproximada de 200 m.

La presa ha sido construida con material de enrocado obtenido localmente, y también con material de desmonte, proveniente de las labores subterráneas de minados. El material de enrocado se presenta en bloques y tiene forma angular. El cuerpo de la presa ha sido construido íntegramente con material de préstamo, está compuesto por en el espaldón de contención aguas abajo por un enrocado (bloques y bolones provenientes de cantera), englobado en una matriz de arena y grava con escaso material fino; dichos rellenos han sido compactados por la acción del tránsito de equipo pesado. Todos los antecedentes indican que la presa ha sido construida con materiales relativamente permeables, aspecto que se corrobora con prospecciones (sondajes realizados en estudios anteriores).

Todos los estudios anteriores han revelado que la presa presenta un nivel freático muy deprimido o prácticamente nulo, esto se debería a la presencia de un geotextil colocado en el talud de aguas arriba, el cual fue incluido para prevenir la migración de relaves hacia el cuerpo de la presa. Se presume que con el tiempo los relaves han bloqueado el geotextil, formando una capa impermeable por aguas arriba.

Considerando la importancia del nivel freático en la estabilidad física de la presa, durante el mes de abril de 2001 se instalaron 4 piezómetros a objeto de corroborar lo señalado en estudios anteriores. Los resultados de su lectura indican que efectivamente en términos prácticos no existe nivel freático al interior

de la presa, mostrando sólo uno de los piezómetros un nivel de agua en torno a los 0,4m.

Como se indicó, a objeto de dotar de mayor vida útil a la actual presa de relaves Andaychagua se ha optado por proyectar un crecimiento de su nivel de corona en 10 m (en dos etapas de 5m cada una), con lo cual la nueva elevación del coronamiento de la presa será aproximadamente 4364,7 m.s.n.m.

### **2.2.2 OBRAS DE CAPTACIÓN**

Las obras de captación de las aguas en la zona consistirán en:

- Un reservorio, cuya longitud máxima es de 4.20m y ancho promedio de 60.0m, con una altura máxima de 8.0m en el sitio de presa.
- Presa de tierra de 10.0m de altura máximo, 120m de longitud, ancho de cresta de 4.0m y pendiente aguas arriba y abajo de 2h/1v, la dirección de su eje es N 27° E.

### **2.2.3 OBRAS DE DERIVACIÓN**

- Obra de Toma.- Esta obra consiste en un canal construido aguas arriba de la presa que permite llevar el agua del embalse hacia el canal.
- Muro de Mampostería de Piedra.- El muro de mampostería se ha proyectado con el fin de evitar que los materiales que constituyen la presa sean arrastrados hacia el canal.
- Aliviadero.- El aliviadero se ha proyectado con el fin de permitir la descarga del canal aguas debajo de la presa, en el caso de que se produzca un aumento del caudal sobre el caudal de diseño.

### **2.2.4 OBRAS DE CONDUCCIÓN**

Dentro de las obras de conducción se plantean las siguientes:

#### **2.2.4.1 CANAL DE CONDUCCIÓN**

El canal de conducción se iniciara en una cota cercana a los 4378 m.s.n.m. y se extiende hasta la cota 4370 m.s.n.m. en donde empalma al túnel de derivación, dependiendo de la alternativa a utilizarse.

También se plantea la alternativa de conectar el nuevo canal de conducción, al canal existente, el cual deberá ser abovedado, a fin de poder ser enterrado, esta alternativa no deja de lado la ejecución de un túnel de derivación, dado que el actual vertedero deberá ser trasladado de lugar para permitir el recrecimiento de la presa.

El canal en su recorrido contempla la siguiente obra complementaria:

- **Obra Captación Quebrada.**- Esta obra tiene como objetivo captar el agua proveniente de la quebrada y conducirla hacia el canal de derivación.

#### **2.2.4.2 TÚNEL DE CONDUCCIÓN**

Como un complemento a las alternativas para el canal de conducción se plantea la ejecución de un túnel de conducción o derivación que presenta dos alternativas una de 273 m y otra de 404 m., la sección del túnel propuesta es de 3 x 3,5 m, con los sostenimientos y revestimientos requeridos. El portal del túnel se ubica en la cota 4368.043 o 4370.231 (un metro más abajo de la cota de término del canal de derivación), luego el trazado considerara una pendiente de un 5%, por lo que se ha especificado una solera de nivelación de concreto en el fondo del túnel, con el fin de obtener una superficie lisa para el paso del agua.

### **2.3 INGENIERÍA DE DETALLE**

A continuación se presenta una breve descripción de las obras a nivel de ingeniería de detalle.

### **2.3.1 OBRAS DE RECRECIMIENTO DE PRESA**

Como se indicó el objetivo principal del estudio era el de dotar de mayor vida útil a la actual presa de relaves Andaychagua optandose por proyectar un crecimiento de su nivel de corona en 10 m (en dos etapas de 5m cada una), con lo cual la nueva elevación del coronamiento de la presa será aproximadamente 4364,7 m.s.n.m

Desde el punto de vista del presente informe el aspecto más relevante del proyecto de levantamiento del depósito de relaves Andaychagua lo constituye la elevación de la presa. A continuación se realiza una breve descripción de este aspecto del proyecto:

- A objeto de evitar un crecimiento excesivo de los rellenos de la presa se ha optado sólo de por ensanchar hacia aguas abajo aproximadamente 8 m los actuales bancos

- Con el mismo criterio, y a objeto de evitar la construcción de rellenos sobre relave, se ha considerado la construcción de rellenos de suelo reforzado, con geotextil, en la corona, siendo posible de este modo empinar fuertemente el talud de aguas arriba del crecimiento

- A objeto de proteger el geotextil del relleno reforzado se ha considerado efectuar un relleno, no estructural, de arenas o relaves gruesos por aguas arriba.

- Los rellenos superiores se realizarán con materiales de baja permeabilidad, a objeto de impedir filtraciones a través de los rellenos.

### **2.3.2 OBRAS DEL RESERVORIO**

La presa o ataguia considera un coronamiento de 5 m de ancho y taludes aguas abajo y aguas arriba de 2:1 (H:V); la cota referencial para el inicio de los rellenos es la cota 4367,5 correspondiente a la cota actual del relleno existente, considerándose un escarpe mínimo de 30 cm en la zona del relleno de tal modo de crear una superficie plana de trabajo y en la zona de los estribos de 30 cm o

menos si la roca aparece antes. Sin embargo, en la zona central del cuerpo de la presa, se considera un diente cortafuga, por lo que en esta zona se requiere excavar el relleno existente hasta llegar a la roca. Cabe destacar que los rellenos en esta zona, no podrán iniciarse sin que la superficie de fundación sea limpiada de la capa de suelo y material orgánico existente en la zona.

El diseño de la presa contempla básicamente un espaldón aguas arriba constituido por material impermeable, un espaldón aguas abajo constituido por rellenos masivos y un filtro intermedio entre ambos espaldones. Las características de los materiales que constituyen el cuerpo de la presa se describen en el cuadro adjunto.

## RESUMEN DE MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN DE LA PRESA ANDAYCHAGUA

Zona	Función	Características
1	Espaldón Aguas Arriba	Grava Arenosa con Arcillas Tamaño Máximo = 3" % que Pasa Nº 4 = 20 A 80 % % que Pasa Nº 200 ≥ 15 % IP = 7 – 25
2	Filtro	Gravas Finas y Arenosas Limpias Bien Graduadas Tamaño Máximo = 1 1/2" % que Pasa Nº 4 = 53 A 78 % % que Pasa Nº 200 = 0 – 5 % IP = 0
3	Espaldón Aguas Abajo	Relleno Masivo Tamaño Máximo = 6" % que Pasa Nº 4 = 0 - 50 % IP ≤ 0
4	Drenes	Gravas Limpias Bien Graduadas Tamaño Máximo = 4" % que Pasa ¾" = 0 -30 % % que Pasa Nº 4 = 0 %
5	Enrocado Protección Aguas Abajo	Tamaño Máximo = 12" Tamaño Mínimo = 3"
6	Enrocado Protección Aguas Arriba	Tamaño Máximo = 16" Tamaño Mínimo = 6"
7	Camino Coronamiento	Estabilizado Tamaño Máximo < 1 ½"
8	Geotextil	No Tejido Punzonado Peso > 280 gr/m <sup>2</sup>
9	Geotextil	No Tejido Punzonado Peso > 170 gr/m <sup>2</sup>

Además la presa contempla un sistema de drenaje que se compone de un dren principal, (paralelo al eje del muro) y de dos drenes longitudinales, (perpendiculares al coronamiento del muro). Estos drenes tienen como función canalizar las filtraciones que puedan producirse a través del muro y conducir las fuera de la traza de éste, desde donde escurren libremente hacia la laguna del embalse de relaves.

### **2.3.3 OBRAS DE CAPTACIÓN**

El objetivo de las obras de captación consistirá en llevar las aguas del embalse hacia el canal de derivación, se considera con este fin la ejecución de una presa con un espaldón aguas arriba constituido por material impermeable, un espaldón aguas abajo constituido por rellenos masivos y un filtro intermedio entre ambos espaldones.

Dentro de este concepto se plantea la necesidad de ejecutar las siguientes obras de captación:

#### **2.3.3.1 ALTERNATIVA AGUAS ARRIBA**

Ubicada aguas arriba de la presa nueva, estará cimentada sobre roca, la ataguía de cierre se apoyaría sobre el material deslizado, el mismo que debería ser retirado y apoyarla sobre el coluvio-morrenico.

#### **2.3.3.2 ALTERNATIVA DENTRO DEL CUERPO DE LA PRESA**

Dentro del cuerpo de la presa nueva, por lo tanto si se ubica en este lugar la toma, ya no se haría esta presa, también se cimentaría sobre roca y el cierre se haría con material de la misma presa, en ambos casos se puede ejecutar las obras de captación sin desviar el río, ambas se ubican en la margen izquierda.

### **2.3.4 OBRAS DE DERIVACIÓN**

Desde el punto de entrega de las obras de captación, se plantean las siguientes alternativas para las obras de derivación:

### **2.3.4.1 CANAL DE DERIVACIÓN**

El canal de derivación se inicia en la cota 4375,50 m.s.n.m. y se extiende hasta la cota 4367,00 m.s.n.m. en donde se empalma al túnel de derivación.

El canal en su recorrido contempla las siguientes obras:

- **OBRA DE TOMA**

Esta obra consiste en un canal construido aguas arriba de la presa que permite llevar el agua del embalse hacia el canal. En el diseño de esta obra se considera un muro de mampostería de piedra que permite dar salida al agua en forma gradual hacia al canal, también se considera la construcción de una plataforma de piedras (pedraplén) sólo si el fondo del canal presenta materiales sueltos y/o disgregables, en este caso dicha plataforma se extiende hasta el vértice 0 que coincide con el eje de la presa.

- **Muro de Mampostería de Piedra**

El muro de mampostería se ha proyectado con el fin de evitar que los materiales que constituyen la presa sean arrastrados hacia el canal; tiene un coronamiento de 0,40 m, una altura de 5,20 m y talud de 1:2,5 (H : V).

- **Aliviadero**

El aliviadero se ha proyectado con el fin de permitir la descarga del canal aguas debajo de la presa, en el caso de que se produzca un aumento del caudal sobre el caudal de diseño.

- **Obra Captación Quebrada**

Esta obra tiene como objetivo captar el agua proveniente de la quebrada y conducirla hacia el canal de derivación; para esto se han definido dos muros de hormigón y un canal al que al pasar sobre el canal de derivación se le incorpora una parrilla que permite el paso del agua, pero que retiene el material sólido, por

lo que es indispensable que en el programa de mantenimiento del canal se considere la limpieza de estas parrillas.

El canal proyectado tiene una sección, que se ha definido con un caudal de diseño de 13,2 m<sup>3</sup>/seg y no considera revestimiento mientras toda la sección del canal se encuentre excavada en roca, es decir, sólo en el caso de que pase sobre depósitos de suelos, es necesario revestir el canal en hormigón.

El nivel del piso, en la unión con el túnel será en la cota 4367, el nivel de cota de coronación de la elevación de la presa proyectada es de 4365, el canal tendrá una gradiente de 3 ‰ y longitud de 1065 m en el caso de la alternativa de conectarlo al canal existente por lo tanto la cota del piso después de la toma será 4370.195, en la alternativa de conectar el nuevo canal con la ejecución de un túnel de derivación con una longitud de 875 m, la cota de piso después de la toma será 4369.625.

En el trazo indicado en el plano, el piso del canal estará cimentado en roca en un 90 %, un 5 % en bofedal muy cercano a suelo coluvio-morrenico, la turba del bofedal deberá eliminarse y rellenarse con suelo de mejor calidad, el 5 % restante estará apoyado directamente en suelo coluvio-morrenico. Se requerirá, una vez seleccionado el trazo secciones cada 20 m, las mismas que servirán para el diseño de canal y cálculo del movimiento de tierras de las excavaciones.

Las calicatas ejecutadas, para definir el trazo del canal, se ubicaron en la cota 4365 y de acuerdo al nivel de roca encontrado y su ángulo de soterramiento se ha determinado la afirmación anterior.

Se requerirá de tres pequeñas alcantarillas en alternativa de conectar el nuevo canal al canal existente y dos en la alternativa de ejecutarse un nuevo canal en la parte superior de la quebrada, y conectarlo a un nuevo túnel de derivación.

De optarse por la alternativa de conectar el canal al canal existente los 250 m iniciales del canal serian diseñados para abovedarse posteriormente, ya que estarían debajo de la presa, el revestimiento es de concreto Fc 210kg/cm<sup>2</sup>.



- **Derivación Temporal.**- Esta obra requerirá durante la ejecución de las obras de derivación definitiva, por lo tanto, aún cuando tienen carácter de temporal, es tanto o más importante que las obras definitivas, ya que debe permitir la construcción del embalse y del canal en forma segura y por otra parte, debido a la topografía, la traza de esta obra pasa a través de la presa proyectada (bajo el nivel de fundación), por lo tanto, su diseño contempla todas las medidas necesarias para que esta obra no represente un riesgo futuro en la estabilidad de la presa.

#### **2.3.4.2 TÚNEL DE CONDUCCIÓN**

Tendrá una longitud de acuerdo a la alternativa seleccionada, del tipo baúl de 3.0 m de ancho y 3.0 m de altura, con una pendiente de 2%, el revestimiento será de concreto lanzado de 10.0 cm. en el techo y paredes (aproximadamente 1 m<sup>3</sup>/ml incluyendo alisado y rebote en la colocación) y una solera de 15.0 cm de cemento Fc 140kg/cm<sup>2</sup> (mejorar la rugosidad), el sostenimiento temporal es mínimo por las condiciones de la roca a excavarse.

La dirección será la adecuada a fin de atravesar las zonas de falla o fracturamiento intenso corte con un máximo de 10.0 m cada una, con soporte consistente en pernos, concreto lanzado y malla. Los pernos serán cementados y de 2.4m de longitud.

Finalmente, se evaluará el portal de salida a fin de determinar si requiere o no ningún tipo de obra de entrega, a fin de que la caída del agua sea controlado en este escurrimiento.

### **3.- GEOLOGÍA Y GEOTECNIA GENERAL**

Antes de iniciar el desarrollo del presente capítulo cabe mencionar que el área de estudio se encuentra en el límite de los cuadrángulos de Matucana y la Oroya (24-K y 24-L) según la carta geográfica nacional (escala 1:100000), por lo que la información presentada pretende ser un resumen de lo presentado en ambos cuadrángulos.

#### **3.1 CONDICIONES GEOMORFOLÓGICAS**

El distrito minero de Andaychagua está localizado en la parte Sur-Este de una amplia estructura regional de naturaleza domática que abarca casi íntegramente los distritos de Morococha, San Cristóbal y Andaychagua, esta estructura inicialmente fue denominada "Complejo Domal de Yauli" (J.V. Harrison, 1943), actualmente se le denomina "Domo de Yauli".

El valle del río Andaychagua es de origen glacial y está modelado en rocas metamórficas y volcánicas, que posteriormente fueron tapizadas por depósitos del tipo glacial y fluvioglacial. Este valle tiene un fondo escalonado, pudiendo diferenciarse dos sectores: el sector inferior se desarrolla hacia aguas debajo de la Fundición de los Españoles, mientras que el sector superior se extiende hacia aguas arriba de la presa del depósito de relaves existente. Entre ambos sectores existe un desnivel de aproximadamente 100 m, característica que tipifica al sector superior como un valle de tipo colgado.

El límite inferior de valle colgado mencionado en el párrafo anterior, coincide con la presa del depósito de relaves existente. La pendiente promedio del valle en este sector es de 5°, en tanto que aguas abajo su inclinación es de 25°. El depósito de relaves existente se emplaza en un tramo del valle que tiene

un fondo amplio, mientras que la presa existente descansa sobre un tramo de tipo encañonado.

El tramo del valle que está ocupado por el depósito de relaves existente es de fondo ligeramente horizontal (inclinación de 1 a 2°) y ancho que alcanza 100m. Los flancos son escarpados, con una inclinación mayor a 30°. El flanco izquierdo está modelado sobre esquisto, caliza y pizarra, las cuales están cubiertas parcialmente por potentes depósitos coluviales que se presentan en forma de abanico.

La presa existente se ubica en el tramo del valle de tipo encañonado que se caracteriza por tener flancos escarpados e irregulares, con una inclinación mayor a 35° y un fondo muy angosto. Esta morfología se inicia a 80 m aguas arriba del eje de presa. En el fondo del valle está labrado en roca el canal por donde fluía originalmente el río Andaychagua. Este canal tiene una traza ondulada que se caracteriza por sus paredes verticales de 5 a 10 m de altura y 2 a 5 m de ancho.

La geomorfología del área es típica de los altos valles de los andes peruanos, con una altitud que sobrepasa los 4.000 m.s.n.m. La zona de embalse es un valle relativamente amplio (+/- 200 m) de forma en U, limitado ambos lados por montañas de roca volcánica de gran altura, donde se identifican los volcánicos verdes y las filitas de la formación Huay Huay.

El estrechamiento del valle donde se emplaza la presa ha presentado condiciones morfológicas excepcionales para la ubicación de la estructura debido a que la roca de los flancos forma un cañón en V, muy estrecho en el fondo y con una amplitud de 120 m en el nivel de la corona de la presa.

### 3.2 CONDICIONES LITOLÓGICAS

El Domo de Yauli está constituido por varias unidades litológicas cuyas edades van desde el Paleozoico Inferior hasta el Cretáceo Inferior arregladas en una serie de anticlinales y sinclinales de ejes aproximadamente paralelos.

En la zona se encuentra mayoritariamente material cuaternario, consistente en suelos fluvio-morrenicos, así como material orgánico, procedente de los bofedales existentes en la zona.

El depósito mineral de Andaychagua se localiza en el llamado "Anticlinal de Chumpe", cuyo eje se alinea en dirección N45°0, mostrando doble hundida hacia el NO y hacia el SE

Intrusivos con una composición que va desde ácida, a básica, pasando por intrusivos de composición intermedia, que han cortado y/o son paralelos a la secuencia estratigráfica del Anticlinal de Chumpe.

#### 3.2.1 AFLORAMIENTOS ROCOSOS

Los afloramientos rocosos existentes en la zona se encuentran comprendidos desde el Siluriano – Devonico (Grupo Excelsior) hasta el Cretaceo Superior (Grupo Machay), si bien no toda la columna estratigráfica se puede apreciar en los afloramientos, esta se encuentra bien estudiada y definida de la siguiente manera:

##### 1. Silurico - Devónico

**Grupo Excelsior.**- Las rocas más antiguas que afloran en el área son las del Grupo Excelsior y conforman el núcleo del Anticlinal de Chumpe. La potencia total de este grupo es desconocida; sin embargo, J. V. Harrison (1943) determinó una potencia de 1,800 m. para una secuencia equivalente en los alrededores de Tarma. Este Grupo está constituido por lutitas, pizarras, esquistos, volcánicos verdes, tufos, calizas y filitas.

Las filitas se presentan finamente estratificadas, mientras que los lentes de cuarzo presentan mayor espesor generalmente en los núcleos de pequeños anticlinales. Los cuales son interpretados como el resultado del metamorfismo regional.

En la zona conocida como Mina Ultimatum afloran los volcánicos básicos verdes constituidos por lavas vesiculares, y tufos laminados intercalados de composición andesítica; también, filitas negras y una serie calcárea fuertemente silicificada.

Sobre la base de la interpretación de los fósiles encontrados en estas rocas, se le asigna edad Devónica al Grupo Excélsior (J.V. Harrison, 1943).

## **2. Pérmico**

**Grupo Mitu.**- Las rocas del grupo Mitu, yacen discordantemente sobre las filitas Excélsior. Este Grupo parece tener dos facies: una sedimentaria de ambiente continental y otra volcánica denominada "Volcánicos Catalina".

**Volcánicos Catalina.**- Constituyen la parte superior del Grupo Mitu. En la mina Andaychagua, están constituidos por derrames y brechas andesíticas; en la mina Toldorrumi, por aglomerados, derrames, brechas y tufos de composición dacítica; en la mina Ultimatum, por rocas densas riolíticas con laminaciones fluidales.

En la Mina Andaychagua, entre las vetas Andaychagua y Ramal Sur, se encuentra una brecha andesítica con valores altos de plata, distribuidos muy irregularmente dentro de ella.

En la Mina Toldorrumi, los aglomerados suprayacen a las dacitas, brechas volcánicas y tufos. En las cercanías a las vetas Catalina y Polonia los volcánicos se hallan metasomatizados e intercalados.

La edad del Grupo Mitu fue, considerada como del Carbonífero Superior (Mc Laughin 1940) y posteriormente asignado al Pérmico.

### **3. Jurásico**

**Grupo Pucará.-** Sobre los Volcánicos Catalina, en discordancia erosional, se emplaza una interestratificación de calizas y tufos, (Tajo Toldorrumi) que parecen pertenecer a la Formación Condorsinga del Grupo Pucará; toda esta secuencia tiene un rumbo promedio de N 45° W y buzamiento de 50° al SW.

Las calizas varían de color gris claro a gris oscuro, son de grano fino; hay zonas donde están fuertemente brechadas y alteradas hidrotermalmente (silicificación y recristalización). Existen tufos de muy poca potencia, de color gris claro a gris verdoso, intercalados con las calizas.

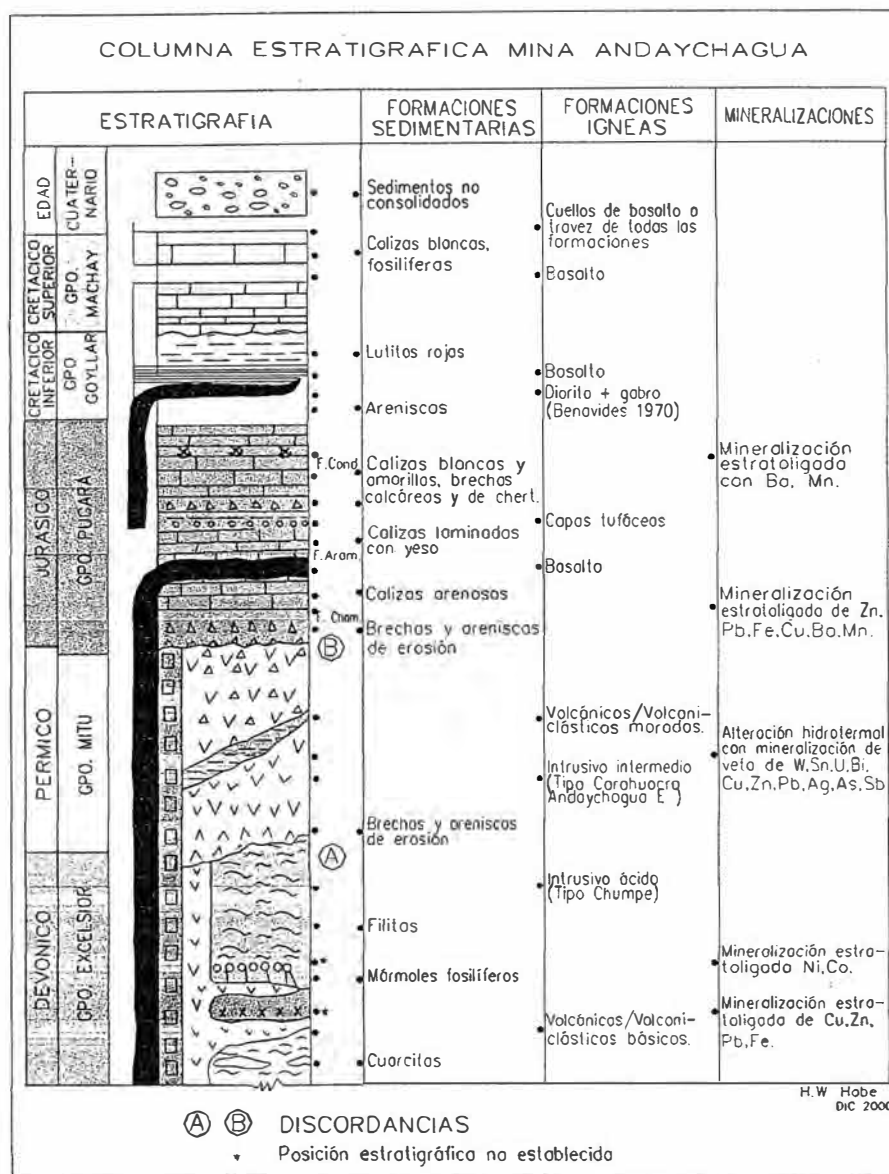
### **4. Cretácico Inferior**

**Grupo Goyllarisquizga.-** Sobre las calizas Condorsinga, yacen en aparente conformidad, las areniscas Goyllarisquizga. Este grupo consiste de areniscas de color amarillento, localmente con apariencia cuarcítica.

El Grupo Goyllarisquizga, ha sido atribuido al Cretácico Inferior Valanginiano-Aptiano (Mc Laughin, 1924).

### **5. Cretácico Superior**

**Grupo Machay.-** Sobreyaciendo concordantemente a las rocas del Grupo Goyllarisquizga se encuentran las calizas del Grupo Machay, no definiéndose cual o cuales de las formaciones de este grupo son las que afloran en el área; sin embargo, por su litología, calizas, calizas dolomíticas, margas y lutitas gris oscuras, se podría considerar tentativamente que se trata de las formaciones Chulec y Pariatambo. La potencia de este grupo varía entre 250 m. y 300 m.



## INTRUSIVOS

En el distrito minero de Andaychagua, ocurren dos tipos de intrusivos: ácidos y básicos

- **Los intrusivos ácidos.**- Están representados por el intrusivo de Chumpe que forma el pico más alto de Andaychagua y se ubica a lo largo de la zona axial del anticlinal que lleva también el nombre de Chumpe. Existe una serie de diques irregulares, casi paralelos, con buzamientos verticales que parecen ser apófisis del intrusivo Chumpe, uno de ellos está emplazado en el área de

Toldorrumi entre las rocas de los Volcánicos Catalina y del grupo Pucará; este intrusivo está constituido por cuarzo diorita.

Entre las calizas del grupo Pucará (área de Toldorrumi), está emplazado un sill constituido por una dacita porfirítica.

- **Los intrusivos básicos.**- Afloran en el área de Andaychagua, dentro de los Volcánicos Catalina; se trata de una intrusión de gabro de forma elipsoidal, cuya dimensión es 250m. x 70m. la cual ha sido desplazada por la falla Andaychagua.

### 3.2.2 SUELOS

El área del estudio comprende zonas cubiertas principalmente por pastos naturales. La configuración topográfica de la zona varía entre valles en U, (valles glaciares), colinas y quebradas.

En la zona se han podido identificar los siguientes suelos:

Medianamente profundos, de textura media, con un horizonte superficial A bastante conspicuo, por lo general negros y ácidos (Páramo Andolsoles) en las colinas; Litosoles y formaciones líticas donde emerge la roca viva en las pendientes inclinadas y quebradas;

Perfiles poco profundos y limitados por su alto contenido de fragmentos gruesos o roca en descomposición, tales como los Gleysoles altos andinos e Histosoles (suelos orgánicos) en las depresiones húmedas del valle; y Bofedales, caracterizados por su abundante contenido de materia orgánica.

Las observaciones de campo coinciden con la descripción ecológica de una zona de relieve ligeramente ondulado y colinoso. En general, los suelos son orgánicos, relativamente profundos y de textura media, con zonas de drenaje. En las hondonadas se desarrollan suelos orgánicos en forma de bofedal. Según su clasificación por el Sistema Único de Clasificación de Suelos, domina el material de grava areno-limosa. El suelo o material no consolidado, varía con profundidad



de 0 a 3 m según las investigaciones geotécnicas efectuadas en el área del nuevo depósito de relaves. En esta misma zona se estima la permeabilidad del material de cimentación en  $1 \times 10^{-7}$  cm/s.

### **3.3 CONDICIONES ESTRUCTURALES**

Las condiciones estructurales en la zona se encuentran detalladas a continuación:

- **Plegamiento**

El domo de Yauli está conformado por una serie de anticlinales y sinclinales, de los cuales, los anticlinales de Chumpe y de Yauli son los más importantes; sus ejes tienen un rumbo que varían entre N 35° y 40°O.

El anticlinal de Chumpe es considerado como el extremo SO del Domo de Yauli, donde la mayor acción del plegamiento ha tenido lugar; en estas zonas las pizarras del grupo Excélsior han sido levantadas en su mayor extensión.

El anticlinal de Chumpe, en su dimensión mayor, de NO a SE, tiene aproximadamente 16 Kms. mientras que en su dimensión menor, tiene 4 Kms. El flanco occidental tiene un buzamiento de 55° al SO, mientras que el flanco oriental buza 30° al NE. El núcleo de este anticlinal está formado por rocas del Grupo Excélsior; el flanco occidental está compuesto por calizas Pucará y areniscas Goyllarisquizga; en el flanco oriental se extienden las rocas del Grupo Mitu por varios kilómetros y sobre éstas las del Grupo Pucará.

- **Fracturamiento**

Todo el fracturamiento en el área de Andaychagua, es el resultado de las mismas fuerzas compresivas e intrusiones que dieron lugar a la formación del Domo de Yauli. Alrededor y dentro del anticlinal de Chumpe, dos sistemas de

fracturamiento pueden ser observados: uno paralelo al eje del anticlinal y el otro perpendicular al mismo.

- Fracturamiento Paralelo al Eje del Anticlinal

Durante la formación del anticlinal de Chumpe, originado por fuerzas de compresión, los estratos inferiores de calizas resbalaron sobre los volcánicos subyacentes dando lugar a la formación de pequeñas y repetidas fallas inversas acompañadas de pliegues de arrastre. Sobreescurrecimientos y fallas inversas encontrados al Oeste de San Cristóbal en las calizas del Grupo Pucará, pueden pertenecer a este sistema (Szekely, 1967).

Las fuerzas tensionales, al cesar las compresivas, dieron lugar a la formación de fracturas longitudinales paralelas al eje del anticlinal de Chumpe, las cuales fueron posteriormente rellenados por los diques de alaskita que ocurren en el núcleo de dicho anticlinal.

- Fracturamiento Perpendicular al Eje del Anticlinal

Posteriormente a la formación de las fracturas paralelas al eje del anticlinal, se formó un conjunto de sistemas de fracturas más o menos perpendicular a dicho eje y limitadas fracturas de cizallamiento oblicuas al mismo.

Las fracturas perpendiculares al eje del anticlinal, se distribuyen a uno y otro lado del Intrusivo Chumpe y atraviezan las rocas que constituyen ésta estructura en dirección Noreste-Suroeste. En el lado Norte del intrusivo Chumpe las fracturas tienen un buzamiento de 50°-70° hacia el Sur, mientras que las que se ubican al Sur del mismo intrusivo poseen buzamiento de 50°-85° hacia el Norte.

"El fracturamiento transversal en el área de San Cristóbal, parece haber sido ocasionado por efecto del arqueamiento del anticlinal, el cual probablemente se produjo por la acción de fuerzas compresivas que actuaron en direcciones

Noreste-Suroeste, acompañadas por el empuje de abajo hacia arriba durante el emplazamiento del Intrusivo Chumpe (J.A. Pastor, 1970)."

Asimismo esta teoría que se adapta al conjunto de sistemas de fracturas, es la que considera por esfuerzos tensionales y de cizallamiento, originando indistintamente fracturas de tensión y de cizalla en relación a los diferentes tipos de roca que conforman el flanco occidental, predominarían las fracturas de tensión en el flanco oriental (D. Bronkhorst, 1970)".

Movimientos normales acompañados de movimientos subordinados rotacionales, ocurrieron después de la formación de fracturas tensionales, lo cual puede ser comprobado por el desplazamiento que presentan los diques y algunas vetas por efecto del movimiento a lo largo de la fractura San Cristóbal (Veta Principal).

En el área de Andaychagua se observa una yuxtaposición de tectónicas y se les ha dividido en:

- Tectónica Paleozoica.- Según F. Megard (1947), la orogénesis Herciniana cuya actividad duró hasta el Carbonífero Inferior (Missisipiano), produjo los anticlinales de San Cristóbal (Chumpe), Morococha y de Ultimatum.

El fracturamiento longitudinal de orientación SO-NE y el ascenso del pliegue fallado (Horst) sobre la superficie marina, relacionado a la última etapa de compresión y ascensión, produjeron una actividad volcánica extrusiva intensa que se extiende al Carbonífero Superior (Pensilvaniano), cuyos focos se localizan en la parte Oeste del bloque sumergido y a lo largo de la zona axial del anticlinal Chumpe, Morococha y Andaychagua

La erosión profunda de los edificios volcánicos ha puesto al descubierto en la parte Sur del Domo una serie de rocas hipabisales y cuellos volcánicos.

La desactivación de las fuerzas orogénicas a fines del carbonífero trajo consigo una distensión con el consiguiente inicio de la epirogénesis y la formación de relieves y el hundimiento de gravens laterales.

La distensión produjo fracturamiento tensional en la corteza rígida, fallamiento por gravedad y la eyección de diabasas y basaltos precedentes de magmas profundos.

- Tectónica Post-Jurásica.- Fue de poca intensidad; afectó a los volcánicos Mitu y los sedimentos Paria y produjo suaves ondulaciones en la cobertura sobre la cual se depositaron los sedimentos Cretácicos.

- Tectónica Post-Cretácica.- Desarrolló estructuras preexistentes tales como los anticlinales de San Cristóbal, Morococha y Ultimatum. Los anticlinales se intensificaron, se arquearon y se elevaron en conjunto con otras estructuras nuevas; la intensidad del plegamiento es mayor hacia el lado Oeste y Norte del Domo.

### **3.4 CONDICIONES GEODINÁMICAS**

No se han identificado procesos y agentes geodinámicos que pudieran dar origen a fenómenos geodinámicos importantes, que a su vez pudieran afectar la estabilidad de las obras de recrecimiento proyectadas. La actividad geodinámica está limitada a pequeños desprendimientos de roca y flujos menores que transportan los detritos de meteorización hacia el pie de las laderas.

El vaso está modelado sobre el basamento rocoso, que en las zonas llanas o de moderada pendiente está cubierto por una capa delgada de depósitos de superficie. La presencia de materiales no consolidados y afloramientos de rocas fracturadas que pudieran originar algún proceso de inestabilidad, son de dimensiones reducidas. Los procesos geodinámicos que tienen lugar en la zona del embalse están limitados a ocasionales desprendimientos menores de roca.

En el flanco derecho del valle y aguas arriba del actual depósito, se ha identificado una falla de rumbo N45°E y buzamiento de 80° hacia el noroeste y con una zona disturbada de 5 m de espesor. Esta estructura pasa no interfiere con la zona del proyecto de recrecimiento de la presa.

### 3.5 CONDICIONES GEOTÉCNICAS

Los diferentes tipos de obras de captación y derivación de la quebrada Andaychagua permitan el recrecimiento de la presa de relaves de la Mina Andaychagua y un aumento relevante de la capacidad de almacenamiento de esta. Las obras serán emplazadas en afloramientos rocosos consistentes en filitas intercaladas con lentes de mármol cristalizado y volcánicos de textura fluidal-laminar y brechas volcánicas pertenecientes al Grupo Excelsior, frescas a ligeramente alteradas, fracturadas a intensamente fracturadas y resistentes a muy resistentes.

En general las características geotécnicas de los afloramientos rocosos en el área estudio varían de la siguiente manera:

- INDICE Q : 5 – 0.5
- INDICE RMR : 55 – 40
- INDICE GSI : F/B – IF/P

Notándose una mejor calidad de roca en los metavolcanicos, y disminuyendo esta en los afloramientos de filitas, lo que indicaría la poca alteración de los primeros.

No se vislumbra localmente fallas geológicas que puedan poner en riesgo la seguridad de las obras planteadas, recrecimiento presa de relaves, obras de captación y reservorio de agua, canal de derivación y túnel de conducción.

Los sistemas de fracturamientos principales se encuentran asociados a las capas de los metavolcanicos y los estratos presentes en las filitas, los cuales indicamos a continuación:

- Metavolcanico : Buzamiento 87° – Dirección de Buzamiento 218°
- Filitas : Buzamiento 66° – Dirección de buzamiento 240°

De lo mostrado notamos que el fracturamiento principal en la zona de trabajo estaría dado por:

- Buzamiento 65° a 85° – Dirección de Buzamiento 220° a 245°

Las fracturas presentes en el área en general se encuentran con un relleno limo-arcilloso, ligeramente rugosa, ondulada y con indicios de humedad. La anchura y/o abertura no supera los milímetros en gran parte de los afloramientos del área. Como ya se indicara la alteración de las fracturas se puede caracterizar como leve.

El espaciamiento de las fracturas varía de milimétrica en el caso de las capas de las filitas, a decimétricos (10 a más centímetros) en el caso de los demás tipos de rocas aflorantes y en los demás sistemas presentes en las filitas.

### **3.6 CONDICIONES HIDROGEOLÓGICAS**

En el área existen numerosas áreas saturadas que están formando bofedales, con el nivel freático muy cercano a la superficie. En el flanco derecho del valle, a aproximadamente 20 m por encima del nivel del Río Andaychagua, en la zona de cimentación constituida por el aluvial existe un área saturada donde se observan algunas fuentes de agua subterránea. Otra fuente de agua ha sido identificada en la quebrada a la altura del camino de acceso al depósito de relaves existente.

En el resto no se ha observado la presencia de manantiales ni de zonas húmedas, pudiendo inferirse que el macizo rocoso es de baja permeabilidad. Ello es concordante con la naturaleza cerrada a sellada de las pizarras y esquistos que conforman el basamento.

La unidad de producción Andaychagua se encuentra ubicada en la microcuenca de la quebrada del mismo nombre perteneciente a la cuenca del Río Yauli, principal tributario de la margen derecha del Río Mantaro. Al sur de la

microcuenca Andaychagua se ubica la subcuenca Yanachaja, tributario al Río Andaychagua.

La veta principal de la mina atraviesa la cuenca Andaychagua en forma transversal, lo que ha originado que la distribución de las instalaciones se hayan desarrollado tanto en ambas márgenes de la quebrada Andaychagua, como en el propio cauce del río. Es el caso del actual depósito de relaves, constituido por un dique de contención construido en el cauce de la quebrada, habiéndose construido un canal de derivación para la evacuación del drenaje superficial de la quebrada.

## **CARACTERÍSTICAS CLIMÁTICAS Y GEOMORFOLÓGICAS DE LA CUENCA**

Los puntos de captación para los canales de derivación, tanto de la quebrada Yanachaja (Coricocha) como Andaychagua, fijan los puntos de cierre de las dos sub-cuencas dentro del área de influencia del Proyecto. Las respectivas curvas hipsométricas indican que las alturas medias de las micro cuencas Andaychagua y Yanachaja corresponden a 4785 msnm y 4770 msnm, respectivamente. Sus características principales se resumen en la siguiente tabla.

### **CARACTERÍSTICAS GEOMORFOLÓGICAS DE LAS CUENCA**

Características	Yanachaja	Andaychagua
Area(Km <sup>2</sup> )	9084	15.15
Altitud Media	4770	4785
Longitud del Río	3.7	4.8
Pendiente del Río	7.3	5.2

Las dos microcuencas involucradas en el área de influencia son de similares características geomorfológicas y meteorológicas. Corresponden a zonas de vida alto andinas, con un clima caracterizado como húmedo y frío. En las cumbres, las temperaturas son muy bajas, originando formaciones en las que no existe vegetación, lo cual reduce los niveles de evapo-transpiración de manera

que la mayor parte de la precipitación escurre superficialmente o se almacena en forma de nieve o hielo glacial.

### 3.6.1 EVALUACIÓN PLUVIOMÉTRICA Y DE EVAPORACIÓN

#### 3.6.1.1 FUENTES DE INFORMACIÓN

En la Tabla adjunta se presenta la lista de estaciones meteorológicas que registran precipitación y con las que se cuenta en las cercanías al área del proyecto.

#### ESTACIONES METEOROLÓGICAS

ESTACION	COTA (msnm)	VARIABLE REGISTRADA	PERIODO DE REGISTRO
Morococha	4505	Pm	1947-1997
Huascacocha	4370	Pm	1955-1998
	4370	Pmáx	1956-1997
Pucará	4205	Pm	1952-1998
Pachachaca	3979	Pm	1947-1998
San Cristóbal	4680	Pm	1950-1995
	4680	Pmáx	1953-1990
Ticlio	4800	Pm	1952-1968
Suitucancha	4430	Pd	1996-1997
Pomacocha	4305	Pm	1952-1998
	4305	Pmáx	1953-1997
	4305	E	1996-1997

Pm Precipitación mensual.

Pmáx = Precipitación máxima en 24 horas por año.

E = Evaporación mensual.

Puede observarse que casi todas las estaciones que cuentan con registros de precipitación se encuentran por encima de los 4000 m.s.m.n., en la cuenca alta del Río Mantaro, en el sector que colinda con la divisoria continental de aguas. Esta información ha sido completada y evaluada en su consistencia y homogeneidad en estudios anteriores, los cuales han sido llevados a cabo por encargo de SEDAPAL para evaluar la factibilidad de derivar parte de las aguas que drenan al Atlántico hacia la cuenca alta del Río Rímac, con fines de abastecimiento de la ciudad de Lima.



En cuanto a los registros de evaporación disponibles, si bien es cierto que sólo se cuenta con dos años de información, se sabe que los valores de evaporación son relativamente constantes año tras año, razón por la cual se estima válido emplear este registro como representativo para Andaychagua. Una alternativa distinta hubiera sido calcular el valor de la evaporación a partir de registros de temperatura, humedad relativa y velocidad del viento. Sin embargo, no se cuenta con dicha información en el lugar de estudio.

### • PRECIPITACIÓN MEDIA

Las ocho estaciones meteorológicas indicadas en la Tabla anterior cuentan con registros de precipitación media mensual. Sin embargo, la estación meteorológica de Suitucancho recién fue instalada en 1996, razón por la cual se le ha excluido del análisis, al ser su registro muy corto. Los valores medios de precipitación anual se presentan a continuación.

#### VALORES DE PRECIPITACIÓN MEDIA ANUAL REGISTRADA EN ESTACIONES METEOROLÓGICAS

ESTACION	PRECIPITACION MEDIA ANUAL (mm)
Morococha	848
Huascacocha	779
Pueará	608
Pachachaca	695
San Cristóbal	878
Ticlio	697
Pomacocha	725

De estudios realizados anteriormente se sabe que la precipitación media anual varía con la altitud en esta zona. Así, a partir de un modelo de regresión lineal, se intentó establecer una relación entre estas dos variables. Se apreció que de incluirse todas las estaciones, el coeficiente de regresión sería bastante bajo, optándose entonces por excluir los valores correspondientes a Pueará y Ticlio. La relación encontrada ( $P = 0.2817Y - 445.63$ ), donde  $P$  es la precipitación media anual en mm e  $Y$  es la altitud en m.s.m.n.), tuvo un coeficiente de regresión de 0.94, el cual se consideró aceptable.

Aplicando la regresión lineal indicada en el párrafo anterior y para una altitud del depósito de relaves Andaychagua Alto de 4410 msnm, se tiene que la precipitación media anual en el lugar en estudio es de 797 mm. Se asumió además, que la distribución mensual de precipitación es la misma que la registrada en la estación de San Cristóbal, con el 80% de la precipitación ocurriendo entre los meses de noviembre y abril. Los valores mensuales de precipitación se presentan en la tabla siguiente:

### **VALORES MEDIOS DE PRECIPITACIÓN PARA ANDAYCHAGUA ALTO**

MES	PRECIPITACIÓN (mm)
Enero	122
Febrero	134
Marzo	137
Abril	70
Mayo	24
Junio	12
Julio	8
Agosto	16
Setiembre	37
Octubre	62
Noviembre	77
Diciembre	98
Total	797

#### **• VALORES MENSUALES DE TORMENTA**

Dado que se ha asumido que la distribución mensual de precipitaciones registrada en la estación meteorológica de San Cristóbal es representativa para Andaychagua Alto, se ha usado este registro para la evaluación de los valores máximos mensuales de precipitación correspondientes a distintos períodos de retomo.

Los resultados, con un intervalo de confianza al 95%, se presentan a continuación:

### VALORES DE PRECIPITACIÓN MÁXIMA MENSUAL EN FUNCIÓN DE PERÍODO DE RETORNO

PERIODO DE RETORNO (años)	PMM (mm)	LS (mm)	LI (mm)
10	246	262	230
50	283	304	262
100	296	318	273
150	303	327	279
500	322	349	295
1000	333	361	304

PMM = Precipitación mensual máxima para un determinado período de retorno.

LS = Límite superior del intervalo de confianza al 95% de la PMM.

LI = Límite inferior del intervalo de confianza al 95% de la PMI.

#### • VALORES DIARIOS DE TORMENTA

Para la evaluación de los valores máximos de precipitación en 24 horas para distintos períodos de retorno, se siguió el mismo procedimiento utilizado en la sección anterior, pero en este caso las series de máximos formadas a partir de los tres registros de precipitaciones máximas con los que se cuenta fueron ajustadas cada una a la distribución de probabilidad de valores extremos tipo 1 (conocida como Gumbel). Los resultados se presentan en la Tabla respectiva.

### VALORES DE PRECIPITACIÓN MÁXIMA EN 24 HORAS EN FUNCIÓN DEL PERÍODO DE RETORNO

PERIODO DE RETORNO (años)	Pmáx – 24 (mm) Huascacocha	Pmáx – 24 (mm) Pomacocha	Pmáx – 24 (mm) San Cristóbal	Pmáx – 24 (mm) Andaychagua
10	45	39	37	40
50	58	51	46	52
100	63	56	50	56
150	66	59	52	59
500	75	68	59	67
1000	80	73	63	72

Pmáx-24 = Precipitación máxima en 24 horas para un determinado periodo de retorno

## • PRECIPITACIÓN MÁXIMA PROBABLE

La precipitación máxima probable (PMP) representa el valor máximo de la cantidad de lluvia que durante una cierta duración de tiempo, se espera precipite en un lugar, en un determinado momento del año.

Los resultados obtenidos para Andaychagua se muestran en la tabla siguiente tabla:

### VALORES DE PMP PARA DISTINTAS DURACIONES DE TORMENTA

DURACIÓN	PMP (mm)
1 día	188
3 días	376
1 mes	1061

## • EVAPORACIÓN

Se ha asumido que la información registrada en el evaporímetro instalado en la estación meteorológica de Pomacocha es representativa para Andaychagua. Dado que ambos lugares son cercanos (12 km), se encuentran a aproximadamente la misma altitud y con condiciones topográficas similares, se estima que los parámetros de temperatura, humedad relativa y velocidad del viento que gobiernan la tasa de evaporación, sean también similares.

En la Tabla siguiente se presentan los valores medios mensuales de evaporación que se espera ocurran desde la superficie de agua empozada en el depósito de relaves proyectado. El valor medio anual de la evaporación desde el depósito de relaves Andaychagua Bajo se estima por tanto en 798 mm.

## VALORES MEDIOS DE EVAPORACIÓN PARA ANDAYCHAGUA ALTO

MES	TASA DE EVAPORACION
Enero	57
Febrero	36
Marzo	71
Abril	65
Mayo	66
Junio	75
Julio	80
Agosto	69
Setiembre	78
Octubre	79
Noviembre	68
Diciembre	54
Total	798

### • ESCORRENTÍA

En el área del Proyecto se cuenta con aforos puntuales ejecutados por Volcan como resultado del monitoreo de control de efluentes desde el mes de octubre de 1997 hasta el mes de marzo de 1999. Esta información corresponde a caudales naturales en la quebrada de Yanachaja donde no existen obras de captación o de derivación. En cambio los caudales de la quebrada Andaychagua, sobre todo los registrados en época de estiaje, no son caudales naturales pues aguas arriba del punto de monitoreo existen hasta tres captaciones de agua para la U.P. Andaychagua, lo cual explicaría los menores caudales registrados en esta quebrada en época de sequía en comparación con los de la otra quebrada.

Llama la atención en cambio la elevada escorrentía registrada en febrero y marzo de 1998 en la quebrada Andaychagua que no se refleja en la quebrada vecina. Esto posiblemente se deba a que los aforos puntuales no se realizaron

simultáneamente, es decir, no se midieron los caudales correspondientes al mismo evento de precipitación.

Para poder caracterizar el rendimiento de las cuencas y estimar los caudales de diseño de las diferentes obras planteadas se ha recurrido a la metodología de regionalización, empleando información de las cuencas vecinas así como buscando relacionar los caudales con el área de las cuencas y tomando como base el estudio hidrológico del Proyecto Marca 11. Habiéndose obtenido las relaciones que se incluyen en la siguiente Tabla.

### CAUDALES POR EL MÉTODO DE REGIONALIZACIÓN

Caudales	Expresión	Coef. de correlac.
Caudal medio multianual	$Q = 0.018 \text{ Area } 0.949$	$R = 0.97$
Caudal máximo diario	$Q_{md} = 0.246 \text{ Area } 0.8$	$R = 0.98$
Caudal pico instantáneo	$Q_{pi} = 2 * Q_{md}$	
Caudal Pico inst. (TR 100 años)	$Q_{100} = 2.27 * Q_{pi}$	
Caudal Pico inst. (TR 500 años)	$Q_{100} = 2.81 * Q_{pi}$	

Reemplazando las áreas de 15.15 y 9.84 km, para las microcuencas de Andaychagua y Yanachaja respectivamente, se obtienen los valores mostrados en la Tabla.

### CAUDALES CALCULADOS PARA LAS MICROCUENCAS ANDAYCHAGUA Y YANACHAJA (m<sup>3</sup>/seg)

Caudales	Andaychagua	Yanachaja
Caudal medio multianual	0.240	0.160
Caudal máximo diario	2.200	1.530
Caudal Pico instantaneo	4.400	3.060
Caudal Pico inst. (TR 100 años)	10.000	7.000
Caudal Pico inst. (TR 500 años)	12.000	9.000

### 3.7 CONDICIONES GEOTECTÓNICAS Y SÍSMICAS

El depósito de relaves de Andaychagua se ubica en un área de sismicidad moderada a alta. La actividad tectónica principal se asocia a la placa de Nazca que se desliza por debajo de la Placa Sudamericana, a lo largo de la costa peruana. Esta zona de subducción se localiza a aproximadamente 100 km. de profundidad en el área del proyecto y es la causa principal de dos fuentes de actividades sísmicas.

La primera está relacionada con los sismos de subducción, los cuales ocurren a lo largo del plano de subducción, pudiendo alcanzar magnitudes de hasta 8.5. Estos sismos pueden ser de duración prolongada. Sin embargo, debido a la distancia del epicentro a la zona en estudio, normalmente la aceleración pico del terreno es menor que la aceleración correspondiente a sismos con epicentros más cercanos y de menor magnitud.

La segunda está relacionada con los sismos de tipo continental, los cuales ocurren en la zona de la corteza terrestre y están asociados en la mayoría de los casos, a las grandes fallas de empuje en dirección NO-SE. Estos eventos pueden alcanzar magnitudes de hasta 7.5 y la aceleración está controlada por la distancia del epicentro al área de estudio

De acuerdo a cálculos de evaluación probabilística realizados se determinan las aceleraciones máximas del sitio para diferentes períodos de retorno.

#### ACELERACIÓN MÁXIMA DEL SUELO EN EL ÁREA DEL PROYECTO

PERIODO DE RETORNO (años)	ACELERACION MÁXIMA DEL TERRENO
100	0.20g
475	0.30g
1000	0.36g

El criterio mínimo recomendado para el recrecimiento del actual depósito de relaves es el que corresponde a un periodo de retorno de 1000 años, debiendo ser la estructura capaz de resistir el evento sísmico máximo, sin colapsar de modo catastrófico.



## **4.- GEOLOGÍA Y GEOTECNIA DE LAS ALTERNATIVAS**

### **4.1 RESERVORIO**

Al analizar las alternativas de captación se determino la ejecución de una presa con el fin de captar el agua de los diferentes afluyentes de la zona, y poder captarlos y derivarlos fuera del área de la cancha de relaves.

Tendrá una capacidad máxima de 100,000 m<sup>3</sup>, la margen derecha consiste en suelos morrenicos gravo-limosos, cohesivos, moderadamente plásticos, cubiertos en el tramo inicial aguas arriba de la presa por material deslizado consistente en gravas limo-arcillosa y turbas. La margen izquierda consistirá de afloramientos de filitas, cubiertas por material morrenico gravo-limoso, la pendiente del terreno en ambas márgenes es suave (10° a 20°) siendo estables en ambas laderas, salvo el material de turba, el mismo que requerirá ser removido en toda el área mojada.

### **4.2 OBRAS DE CAPTACIÓN**

La presa necesaria para crear el reservorio y posteriormente derivarla por medio de la bocatoma, estará apoyada en su estribo derecho en roca metamórfica carbonatada (mármol) levemente alterada y fracturada, resistente, de textura cristalina, la parte central se apoyara sobre relleno gravo-limoso, compactado y el estribo izquierdo sobre filitas bituminosas intensamente fracturadas, levemente alteradas y moderadamente resistentes.

La bocatoma estará emplazada en las filitas bituminosas, del extremo izquierdo de la presa, las mismas que requerirán tratamiento de consolidación e impermeabilización.

### **4.3 OBRAS DE CONDUCCIÓN**

Las obras de conducción presentan en conjunto dos alternativas para su ejecución, contando ambas alternativas con la ejecución de un canal y un túnel. A continuación presentamos estas alternativas.

#### **4.3.1 CANAL CONDUCCIÓN**

La plataforma del canal será excavada en un 70.0% en roca y 30.0% en suelo y el cajón del canal será excavado en un 95.0% en roca y 5.0% en suelo, los afloramientos rocosos consisten predominantemente en filitas bituminosas muy a intensamente fracturadas, frescas a levemente alteradas y duras en dirección perpendicular a la foliación (**N30°W/50°NE**) y pobres en dirección paralela a la misma, presentándose algunos lentes de mármol levemente a moderadamente fracturado, fresco a levemente alterado y duro (mayor de 100 Mpa).

El canal con la alternativa de túnel largo, tendrá una longitud de 640.00 m y con la alternativa de túnel corto, una longitud de 860.00m.

De acuerdo a las condiciones de roca podrá operar con un mínimo de revestimiento, el mismo que se colocara en:

- En zonas de intenso fracturamiento o de fracturas abiertas sin relleno.
- En el tramo de suelo que no es mayor de 30.0m.
- En los primeros metros inmediatamente después de la bocatoma.
- En los últimos metros antes de la entrada del portal del túnel.

La pendiente del terreno es muy favorable a la construcción, con excepción de los últimos 200.0m, en que la pendiente es mas fuerte y en este caso solo afecta al canal con túnel corto.

#### **4.3.1.1 ALTERNATIVA CANAL PROGRESIVA 640.00**

El canal con la alternativa de túnel largo, tendrá una longitud de 640.0m.

De acuerdo a las condiciones de roca podrá operar con un mínimo de revestimiento en zonas de intenso fracturamiento abierto o en el tramo de suelo que no es mayor de 30.0m y en la entrada inmediatamente después de la toma y antes del portal de entrada al túnel.

#### **4.3.1.2 ALTERNATIVA CANAL PROGRESIVA 860.00**

Con la alternativa de túnel corto, el canal tendrá una longitud de 860.0m

La pendiente del terreno es muy favorable a la construcción, con excepción de los últimos 200.0m, en que la pendiente es mas fuerte y en este caso solo afecta al canal con túnel corto.

#### **4.3.2 TÚNEL DE CONDUCCIÓN**

Ambas alternativas de túneles se excavarán en afloramientos rocosos del Grupo Excelsior, consistentes en capas de Mármoles, Volcánicos Laminares y Brechas Volcánicas de composición andesítica, frescas a levemente alteradas, moderadamente fracturadas y duras a muy duras, (100 a 150 Mpa) con condiciones menos favorables en los portales y zonas interceptadas por fallas, en las primeras se observa un mayor grado de alteración y en las segundas se aprecia una mayor intensidad de fracturamiento con posible presencia de rellenos arcillosos, en general ambas alternativas de túnel se excavarán en zonas secas, con presencia de goteo a flujos no relevantes en las zonas de falla.

En los planos adjuntos se muestran sus clasificaciones geomecánicas y los tipos y sus características del soporte y revestimiento recomendado, siendo el resumen el siguiente:

#### **4.3.2.1 ALTERNATIVA TÚNEL PROGRESIVA 273.00**

Alternativa Corta (Longitud 273.00 m).- Sección tipo baúl de 10.0m<sup>2</sup> y pendiente 5.0%

- Soporte tipo A = 230.00 m = 84.0%
- Soporte tipo B = 23.00 m = 9.0%
- Soporte tipo A = 20.00 m = 7.0%
- Revestimiento tipo 1 = 230.00 m = 84.0%
- Revestimiento tipo 2 = 43.00 m = 16.0%

#### **4.3.2.2 ALTERNATIVA TÚNEL PROGRESIVA 404.00**

Alternativa Larga (Longitud 404.00 m).- Sección tipo baúl de 10.0m<sup>2</sup> y pendiente 5.0%

- Soporte tipo A = 352.00 m = 87.0%
- Soporte tipo B = 32.00 m = 8.0%
- Soporte tipo C = 20.00 m = 5.0%
- Revestimiento tipo 1 = 352.00 m = 87.0%
- Revestimiento tipo 2 = 52.00 m = 13.0%

Se recomienda el uso de un solado de concreto, en el piso de cualquiera de las alternativas, así como, por las condiciones de acceso a los portales de salida.

## **5.- INVESTIGACIÓN DE CAMPO Y GABINETE**

### **5.1 ESTUDIOS DE SUELOS**

Los estudios de suelos se centraron principalmente a la determinación del espesor de los mismos, con un mayor énfasis a lo largo del posible eje del canal, sin dejar de lado las áreas de las demás obras.

Esta determinación se efectuó mediante la ejecución de calicatas, excavadas de manera manual, los registros de las mismas que se muestran en los anexos.

Al notarse la posibilidad de poder encontrar roca firme a fin de poder cimentar adecuadamente las obras requeridas, no se realizaron mayores estudios de suelo para determinar las cargas portantes ni para la presa ni para el canal de conducción.

Si se determinó de manera clara la necesidad de eliminar tanto en el reservorio como en las demás obras todo el material de suelo orgánico presente a fin de garantizar una mayor estabilidad de las mismas.

### **5.2 GEOMECÁNICA DEL TÚNEL TEMPORAL DE DERIVACIÓN**

Gracias a la ejecución del túnel temporal de Derivación, se pudo evaluar de manera más precisa la condición del macizo rocoso, así como los requerimientos de sostenimiento necesarios para las diferentes alternativas de túnel a ser evaluadas.

#### **5.2.1 CONDICIONES GEOMECÁNICAS Y SOSTENIMIENTO INFERIDO**

Las condiciones geomecánicas y de sostenimiento a emplearse en la ejecución de cualquiera de las dos alternativas de túnel se dedujeron a partir de

los mapeos geológicos de superficie así como de lo encontrado durante la ejecución de las obras del túnel temporal, a continuación se presenta a manera de cuadro un resumen de los mismos:

Tramo	Litología	RQD	Jn	Jr	Ja	Jw	SRF	Q	RMR	GSI	Sostenimiento
0+015 a 0+025	Filitas	35	12	2	2	1	5	0.6	39	MF/R-P	Shotcrete con fibra y Perno ocasional
0+025 a 0+035	Filitas	35	6	2	1	1	5	2.3	51	MF/R-P	Perno Sistemático
0+035 a 0+120	0+035 a 0+050 Filitas	40	6	2	1		2.5	5.3	59	MF/R-P	Sin Soporte o Perno Ocasional
	0+050 a 0+120 Volcánicos y Filitas	70	9	2	1	1	2.5	6.2	60	F/B-R	
0+120 a 0+130	Volcánicos y Filitas	60	9	2	1	1	2.5	5.3	59	F/B-R	Perno Sistemático (opcional)
0+130 a 0+140	Volcánicos y Filitas	60	18	2	1	1	5	1.3	46	F/B-R	Shotcrete con fibra o Perno Ocasional

## 5.2.2 CONDICIONES GEOMECÁNICAS Y SOSTENIMIENTO ENCONTRADO

Durante la ejecución de las obras se encontró que las condiciones geomecánicas y de sostenimiento coincidieron sobre lo estimado y proyectado a partir de los mapeos y de las evaluaciones geomecánicas realizadas durante la ejecución del mismo.

## 5.2.3 MAPEOS DE ARCO REBATIDO

Se realizó un mapeo de arco rebatido a lo largo del túnel de derivación Temporal, con la finalidad de poder determinar las condiciones geomecánicas y de sostenimiento que se encontraron y emplearon en el mismo, lo cual a su vez nos permitió la determinación de las características geomecánicas que se esperaba encontrar en la ejecución del túnel definitivo así como del sostenimiento inferido a emplearse, tal como se indicara en el punto 5.2.1.

## **5.2.4 PROYECCIÓN DE LAS EXCAVACIONES EN LAS ALTERNATIVAS DEL TÚNEL TEMPORAL DE DERIVACIÓN**

En las obras de excavación del túnel temporal se proyectó una excavación en roca F/B y en roca IF/P dos tramos de 10 mts, cada uno, este último tipo de roca se encuentra asociado a la presencia de dos fallas, detectadas durante el mapeo superficial, las cuales disminuyeron su área de influencia en profundidad, disminuyendo en un 50% la longitud de los tramos esperados.

Este mismo efecto se notó durante la excavación del túnel definitivo.

## **5.3 ESTUDIOS DE MECÁNICAS DE ROCAS**

### **5.3.1 ENSAYOS PETROGRÁFICOS**

Los ensayos petrográficos fueron realizados en la Universidad Nacional de Ingeniería, y consistieron en la ejecución de 6 secciones delgadas de igual número de muestras recolectadas dentro del área del proyecto, tanto de la zona del túnel definitivo como del área de la presa.

Los resultados de dichos ensayos, así como las fotografías respectivas se muestran a continuación:

#### **▪ MUESTRA 1 ZONA DE PORTAL DE ENTRADA TUNEL DEFINITIVO**

**DESCRIPCIÓN MACROSCÓPICA.**- Muestra de color gris claro, de textura afanítica, cortada por venillas y vena de color blanco y microfracturas de limonita. Efervece en presencia de HCl.

#### **DESCRIPCIÓN MICROSCÓPICA**

**Minerales.**- Minerales principales: calcita (84%), cuarzo (15%). Minerales accesorios: casiterita (<<1%), galena (<<1%).

**Textura.**- Aparentemente granular.

**Alteraciones.**- Oxidación y carbonatación en venillas

**OBSERVACIONES.**- La muestra está constituida esencialmente por calcita. Se observa cuarzo aparentemente reemplazado por calcita.

La galena y la casiterita como finas diseminaciones menores a 5 micrones.

La muestra esta cortada por finas venillas de limonitas y aparentemente de calcita.

#### NOMBRE DE LA ROCA.- MÁRMOL

##### ▪ MUESTRA 2 ZONA DE EJE DE TÚNEL DEFINITIVO

DESCRIPCIÓN MACROSCÓPICA.- Muestra de color blanco, aparenta una textura porfirítica, constituida por fenos milimétricos (probablemente cuarzo) en matiz blanquecina (arcillas). Efervece en presencia de HCl.

#### DESCRIPCIÓN MICROSCÓPICA

Minerales.- Minerales principales: calcita (98%). Minerales accesorios: galena (1%), pirita (<<1%)

Textura.- Aparentemente hay alineamientos de cristales de calcita.

Alteraciones.

OBSERVACIONES.- La muestra esta constituida de calcita, con pequeñas playas de tamaños menores a 30 micrones de galena y diseminaciones menores a 5 micrones de pirita.

#### NOMBRE DE LA ROCA.- MÁRMOL

##### ▪ MUESTRA 3 ZONA DE EJE DE TUNEL DEFINITIVO

DESCRIPCIÓN MACROSCOPICA.- Muestra de color blanco, aparenta una textura porfirítica, constituida por fenos milimétricos (probablemente cuarzo) en matriz blanquesina (arcillas), Efervece en presencia de HCl.

Muestra similar a la muestra numero 2.

#### DESCRIPCIÓN MICROSCÓPICA

Minerales.- Minerales principales: calcita (98%), silicatos de magnesio (<1%), oxidos de aluminio (<1%). Minerales accesorios: galena (<1%), casiterita (<<1%)

Textura.- Aparentemente afanítica, no se observa.



Alteraciones.-

OBSERVACIONES.- La muestra es constituida por calcita aparentemente anhedral asociada con talco y diáspora, con diseminaciones menores a 15 micrones de galena y casiterita.

NOMBRE DE LA ROCA.- MÁRMOL

▪ MUESTRA 4 ZONA DE EJE TÚNEL DEFINITIVO

DESCRIPCIÓN MACROSCÓPICA.- Muestra de color gris con tinte verdoso, se observa textura clásica (alineamientos de algunos minerales). Efervece muy ligeramente en HCl.

DESCRIPCIÓN MICROSCÓPICA

Minerales.- Minerales principales: cloritas, biotita, plagioclasas sódicas, cuarzo. Minerales accesorios: óxidos de hierro, calcita

Textura.- No se observa.

Alteraciones.- Cloritización de biotitas

OBSERVACIONES.- Aparentemente las biotitas se encuentran reemplazadas por cloritas.

Asociación íntima de cloritas/biotita/albita/cuarzo

Los óxidos de hierro se presentan como playas de tamaños menores de 100 micrones.

NOMBRE DE LA ROCA.- Metavolcánico (sericitizado/cloritizado/silicificado)

▪ MUESTRA 5 ZONA DE PRESA DE ATAGUIA - ZONA DE BOCATOMA

DESCRIPCIÓN MACROSCÓPICA.- Muestra de color gris con tinte verdoso, se observa afanítica. Efervece ligeramente la roca y esta cortada por finas venillas de calcita.

DESCRIPCIÓN MICROSCÓPICA

Minerales.- Minerales principales: cloritas, biotita, augita (silicatos de ca, mg, al, ti, na), calcita, cuarzo (<1%), albita (<1%). Minerales accesorios: monacita (<<1%).

Textura.- Lepidoblástica.

Alteraciones.- Cloritización en biotita. Carbonatización en playas y en fracturas.

## OBSERVACIONES

NOMBRE DE LA ROCA.- Metavolcanico de augita cloritizada

### ▪ MUESTRA 6 ZONA DE PRESA DE ATAGUIA - BOCATOMA

DESCRIPCIÓN MACROSCÓPICA.- Muestra de color negro grisáceo, de textura afanítica. Efervece ligeramente en presencia de HCl.

## DESCRIPCIÓN MICROSCÓPICA

Minerales.- Minerales principales: grafito (25%), arcillas (15%), feldespato potasico o sericita?, biotita, cloritas, albita, cuarzo. Minerales accesorios: monacita, escalerita, apatito.

Textura

Alteraciones

OBSERVACIONES.- La muestra esta constituida de playas de grafito asociada con arcillas/biotita/feldespato potasico?, menos frecuente con cloritas. Las arcillas proprovendrian de la alteración del feldespato potasico?.

Se observan diseminaciones de apatito. Además de playas de cuarzo y de cloritas aledañas a las playas de grafito.

La monacita y la escalerita se presentan como pequeñas playas de tamaños menores a 10 micrones.

NOMBRE DE LA ROCA.- Pizarra de cuarzo y grafito en venillas.

### **5.3.2 ENSAYOS DE CARGA PUNTUAL**

Los ensayos de carga puntual se realizaron en las oficinas de Geomecánica de San Cristóbal empleando un equipo portátil de propiedad de Volcan Compañía Minera S.A.A.

Para estos ensayos se emplearon muestras recolectadas a lo largo del eje del Túnel de Derivación así como de la zona de la presa los resultados obtenidos se muestran en la siguiente tabla:

### **5.3.3 ENSAYOS DE MODULO DE ELASTICIDAD**

Los ensayos de modulo de elasticidad se realizaron juntamente con los ensayos de carga puntual, cambiando las puntas de prueba por unos planos, con la finalidad de ejercer la presión lo mas uniformemente posible.

En ambos casos los ensayos se efectuaron con la finalidad de determinar con mayor precisión las clasificaciones geomecánicas.

## **5.4 DETERMINACIÓN DE LOS PARÁMETROS GEOTÉCNICOS EN LA INGENIERÍA DE DETALLE Y LAS ESPECIFICACIONES TÉCNICAS.**

Con la información recolectada se determino los parámetros geotécnicos para la ingeniería de detalle y las empleadas durante la redacción de las especificaciones técnicas, presentadas a la gerencia de la empresa, a los encargados de la ejecución de la obra y la supervisión de la misma.

La importancia de esta determinación, se centra en la facilidad de poder anticipar las características geotécnicas, que se presentaran en el área de las diferentes obras a ejecutarse, los parámetros de diseño a emplearse, los requerimientos y necesidades de materiales e insumos, tanto para los posibles sostenimientos (temporales y definitivos) a instalarse durante la ejecución de las obras subterráneas, así como para las cimentaciones de las obras en superficie.

De igual manera con esta información el presupuesto a prepararse con el fin de sustentar el proyecto y evaluar las diferentes alternativas se muestra con una mayor certeza, permitiendo de esta manera, una adecuada evaluación técnica y económica.

## **6.- ANÁLISIS DE COSTOS COMPARATIVOS Y DESCRIPCIÓN DE ALTERNATIVA SELECCIONADA**

En este capítulo se tratará de evaluar en base a los costos la mejor alternativa para la ejecución de las obras de derivación, para lo cual nos basaremos en los precios empleados en los trabajos de elevación de la presa de relaves de Andaychagua ejecutados entre los meses de diciembre de 2001 y mayo de 2002, así como en los precios de ejecución del túnel de derivación temporal, consideramos que el emplear dichos costos nos dará una idea muy cercana del costo real de las obras ya que en ellos se consideran los gastos operativos propios de la ubicación de la misma, así como la accesibilidad de los mismos.

### **6.1 PRINCIPALES PARTIDAS CONSIDERADAS**

Para la evaluación económica de cada una de las alternativas, se han considerado las siguientes partidas:

- **EXCAVACIONES**
  - **ZANJA EN MATERIAL COMÚN**
  - **ZANJA EN ROCA**
  - **TÚNEL EN ROCA**
  
- **RELLENOS**
  - **COMÚN**
  - **ESTRUCTURAL**

## 6.2 COSTOS POR ALTERNATIVA PARA EL CANAL Y EL TÚNEL DE DERIVACIÓN

Para evaluar económicamente cada una de las alternativas, se han cubicado solamente el costo del canal de conducción y el túnel de conducción para cada caso, ya que las obras relacionadas con la toma no tienen incidencia directa sobre el costo final, debido a que tiene la posición de ésta se mantiene inalterable frente a las dos alternativas de canal y túnel.

En las tablas siguientes presentan los costos de las diferentes alternativas evaluadas en el proyecto:

### COSTO ALTERNATIVA CANAL PROGRESIVA 860.00 Y TÚNEL PROGRESIVA 273.00

	Unidad	Cantidad	F.C.	Cantidad	P.U.	P.T.
		Neta		Total	U.S.\$	U.S.\$
<b>Canal de Derivación</b>						
Excavación en roca	M <sup>3</sup>	13.500	1,20	16.200	11,0	178.200
Excavación material común	M <sup>3</sup>	711	1,20	853	3,0	2.560
Relleno material común	M <sup>3</sup>	2.273,0	1,20	2.728	3,0	8.183
					<b>SubTotal</b>	<b>188.943</b>
<b>Túnel de Derivación</b>						
Ejecución túnel	MI	273,0	1,20	327,6	900,0	294.840,0
					<b>SubTotal</b>	<b>294.840</b>
<b>Presa</b>						
Relleno colocado y compactado	M <sup>3</sup>	15.000	1,20	18.000	5,5	99.000
Excavación en Suelo	M <sup>3</sup>	2.200	1,20	2.640	3,0	7.920
					<b>SubTotal</b>	<b>106.920</b>
<b>Obra Derivación Temporal</b>						
Ataguía y Derivación Rio	GI	1	1	1	68.830	68.830
					<b>SubTotal</b>	<b>35.000</b>
<b>Obras Provisionales</b>						
Limpieza, Trazos, Etc.	GI	1	1	1	30.000	30.000
					<b>SubTotal</b>	<b>30.000</b>
<b>Otras Obras</b>						
						<b>250.000</b>
					<b>TOTAL</b>	<b>905.703</b>

**COSTO ALTERNATIVA CANAL PROGRESIVA 640.00 Y TÚNEL PROGRESIVA  
404.00**

	Unidad	Cantidad	F.C.	Cantidad	P.U.	P.T.
		Neta		Total	U.S.\$	U.S.\$
<b>Canal de Derivación</b>						
Excavación en roca	M3	10.050	1,20	12.060	11	132.660
Excavación material común	M3	526	1,20	631	3,0	1.894
Relleno material común	M3	1.900	1,20	2.280	3,0	6.840
					<b>SubTotal</b>	<b>141.394</b>
<b>Túnel de Derivación</b>						
Ejecución Túnel	MI	404,00	1,20	484,8	900,0	436.320,0
					<b>SubTotal</b>	<b>436.320,0</b>
<b>Presa</b>						
Relleno colocado y compactado	M3	15.000	1,20	18.000	5,5	99.000
Excavación en Suelo	M3	2.200	1,20	2.640	3,0	7.920
					<b>SubTotal</b>	<b>106.920</b>
<b>Obra Derivación Temporal</b>						
Ataguía y Derivación Rio	GI	1	1	1	68.830	68.830
					<b>SubTotal</b>	<b>68.830</b>
<b>Obras Provisionales</b>						
Limpieza, Trazos, Etc.	GI	1	1	1	30.000	30.000
					<b>SubTotal</b>	<b>30.000</b>
<b>Otras Obras</b>						
						<b>250.000</b>
					<b>TOTAL</b>	<b>1.063.464</b>

Las características de ambas alternativas de canal son exactamente las mismas, un canal de tipo trapezoidal con una sección de 7.5 m<sup>2</sup> y con un revestimiento de concreto en las áreas excavadas en suelo, y un sellado de las fracturas abiertas, de ser necesario, en los tramos excavados en roca.

La diferencia se basa en la longitud final de ambas alternativas, además se plantea la ejecución de dicho canal de dos maneras distintas: Corte y Relleno y solo Corte, no analizaremos ambas opciones, ya que la remoción de material o préstamo del mismo, ya sea roca o suelo no es uno de los factores determinantes en este tipo de obras.

La de Túnel Progresiva 273.00 es más sencilla, al estar cercana al portal de salida del túnel de derivación temporal ya construido, lo cual permitirá excavar en forma simultanea ambos frentes, en el caso que se seleccione esta alternativa.

## 6.3 CARACTERÍSTICAS Y COSTOS DE LA ALTERNATIVA SELECCIONADA

### 6.3.1 CANAL DE CONDUCCIÓN

El canal proyectado, Canal Progresiva 860.00, tiene una longitud de 866 m entre la Presa y el Túnel de Derivación, su sección se ha definido con un caudal de diseño de 13,2 m<sup>3</sup>/seg. y no considera revestimiento mientras toda la sección del canal se encuentre excavada en roca, es decir, sólo en el caso de que pase sobre depósitos de suelos, es necesario revestir el canal con una capa de concreto.

El costo de ejecución de esta alternativa (en US\$) se resume en el siguiente cuadro:

Excavación en roca	M <sup>3</sup>	13.500	1,20	16.200	11,0	178.200
Excavación material común	M <sup>3</sup>	711	1,20	853	3,0	2.560
Relleno material común	M <sup>3</sup>	2.273,0	1,20	2.728	3,0	8.183
					<b>TOTAL</b>	<b>188.943</b>

### 6.3.2 TÚNEL DE CONDUCCIÓN

Tendrá una longitud de 246 m, sección de 8.034 m<sup>2</sup>, del tipo baúl de 3.0 m de ancho y 3.0 m de altura, con una pendiente de 2% (por aprobarse), el revestimiento será de concreto lanzado de 10.0 cm. en el techo y paredes (aprox 1 m<sup>3</sup> /ml incluyendo alisado y rebote en la colocación) y una solera de 15.0 cm de cemento Fc 140kg/cm<sup>2</sup> (mejorar la rugosidad), el sostenimiento temporal es mínimo por las condiciones de la roca a excavar.



La dirección será E-O, se espera atravesar dos zonas de falla o intenso corte con un máximo de 10.0 m cada una, con soporte consistente en pernos, concreto lanzado y malla. Los pernos serán cementados y de 2.4m de longitud.

Finalmente, el portal de salida no requiere ningún tipo de obra de entrega, ya que la topografía del terreno permite el escurrimiento libre del agua, lo que permitirá la formación de una nueva topografía la cual estará controlado por este escurrimiento.

El costo de ejecución de esta alternativa se presenta a continuación (US\$):

Ejecución Túnel	MI	404,00	1,20	484,8	900,0	436.320
					<b>SubTotal</b>	<b>436.320</b>

## **7.- CONCLUSIONES**

### **7.1 RESERVORIO**

- La ejecución de un reservorio para este proyecto, se hace una alternativa viable, al emplearse con este fin el área destinada originalmente a la nueva presa de relaves.

- La construcción de este reservorio podrá proporcionar un adecuado manejo de las aguas, permitiendo en épocas de sequía, la utilización de las mismas, por los pobladores de los caseríos cercanos, así como por las operaciones de la mina.

- El retiro del material producido por el derrumbe, ocurrido en la zona en enero del 2001, no se considera necesario, este no afectara la estabilidad del proyecto, reduciendo únicamente el volumen útil de la presa.

- El volumen útil del reservorio se calcula en aproximadamente: 100,000 m<sup>3</sup>, con un área de 35580 m<sup>2</sup> y un perímetro de 1130m.

### **7.2 OBRAS DE CAPTACIÓN**

- Las obras de captación se ven simplificadas con la realización de la presa del reservorio, ya que estas cumplen la doble finalidad de actuar como Bocatoma y como Aliviadero.

- Este aliviadero debe contar de manera constante con una parilla a fin de evitar el paso de material detrítico a las obras de conducción.

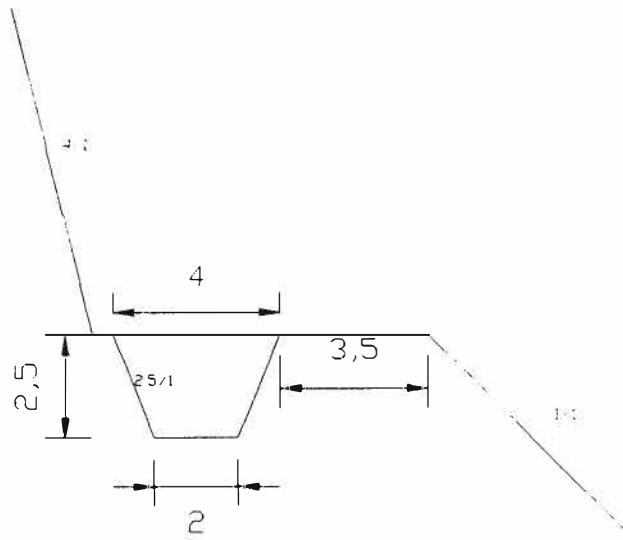
- Las obras de captación también incluyen las obras de las escorrentías de las quebradas que atraviesa el eje del canal de derivación.

## 7.3 OBRAS DE DERIVACIÓN

- Las obras de conducción se dividieron en varias alternativas, debido a lo extenso del recorrido, el cual permitía la ejecución de múltiples variantes.
- La selección de las variantes estudiadas se plantea como consecuencia del estudio de prefactibilidad, realizado eliminando de manera inmediata las alternativas poco viables.
- Durante la ejecución de las obras se planteo la necesidad de ejecutar obras de derivación temporal, las cuales estuvieron sometidas al mismo nivel de estudio y supervisión de las obras definitivas.
- Considerando que entre las alternativas estudiadas no se presenta ninguna ventaja técnica respecto a la otra, se considero que la selección de la alternativa a ejecutarse se basaría exclusivamente en el costo de construcción.
- Las alternativas del canal de conducción al estar conectado, de manera inmediata al túnel, influyen en el mismo, pero al no tener un mayor peso en el costo, la selección final se centra en la selección del túnel más conveniente.
- El costo de ambas alternativas tiene una variación del 11.75% debido principalmente al costo de la excavación subterránea.

### 7.3.1 CANAL DE CONDUCCIÓN

- El canal de conducción ejecutado correspondía al conocido como Canal Progresiva 860.00, o canal largo.
- El costo estimado para esta obra es de 188,943 US\$.
- El canal final cuenta con área de 7.5 m<sup>2</sup> de sección trapezoidal, tal como se muestra en el siguiente grafico:



- Se excavo un 80% en roca y un 20% en suelo, con un 1.0% de gradiente.
- El canal se encuentra íntegramente en roca, en la cual se realizo un tratamiento para impermeabilizar fracturas abiertas, más no un mayor revestimiento de concreto, al seleccionar una rasante que permitiera este trabajo.

### 7.3.2 TÚNEL DE CONDUCCIÓN

- El túnel ejecutado como consecuencia de la selección de la alternativa de canal es el conocido como Túnel Progresiva 273 o Túnel Corto.
- La sección del túnel es del tipo Baúl de 8 m<sup>2</sup> de sección (3 m x 3.5 m) y una pendiente de 5.0%.
- El sostenimiento instalado de manera inmediata se considera mínimo, básicamente pernos ocasionales (pernos Split Set).
- Se considera un revestimiento de concreto lanzado y una loza ( $f_c'$  140 kg/cm<sup>2</sup>) de 15cm de espesor en el piso.
- La selección de esta alternativa se centra principalmente en el costo de la excavación del túnel el cual repercute directamente sobre el costo final del

proyecto, los últimos 220 metros del canal a pesar de ser totalmente en roca, no eleva el costo del mismo, a niveles de una excavación subterránea.

- El costo de esta obra se calculo en: 436,320 US\$.
- La ejecución de esta alternativa se basa también en la facilidad de poder excavar el mismo desde ambos frentes, al tener un acceso cercano y favorable.
- Debido a la topografía existente en la zona del portal de salida del túnel, no se planteo la necesidad de ejecutar obras con el fin de encauzar las aguas, estas formaron su propio cauce natural, lejos del área de la presa de relaves.

#### **7.4 CONCLUSIONES COMPLEMENTARIAS**

- El incremento en la capacidad de la cancha de relaves de Andaychagua originara un menor impacto ambiental en la zona.
- El análisis de estabilidad física de la presa Andaychagua, efectuado por Arcadis Geotécnica, para las nuevas condiciones impuestas por el recrecimiento de 10 m, señalan que la estructura es estable, tanto para el caso estático como para el caso dinámico.
- La ejecución del túnel de derivación temporal de 138 m permitió una mayor fuente de información geológica-geotécnica, que facilito la evaluación del macizo rocoso, así como de identificación de posible áreas de riesgo durante la ejecución del túnel definitivo.

## **8.- RECOMENDACIONES**

### **8.1 RESERVORIO**

- Ante la eventualidad de convertir el reservorio de agua en una presa de relaves la ejecución de esta debe considerar esta posibilidad y ejecutar un núcleo impermeable, así como los drenes respectivos.

- De ser empleado este reservorio como deposito de relaves, se deberá controlar la acidez y los sólidos en suspensión del agua que deberán estar dentro de los límites máximos permisibles, considerando que esta agua no recibirá un mayor tratamiento durante su derivación.

### **8.2 OBRAS DE CAPTACIÓN**

- El adecuado mantenimiento de estas obras garantizaran un efectivo trabajo de las demás obras, por lo que la ejecución de la parrilla en la bocatoma evitara la excesiva acumulación de material detrítico tanto en el canal de conducción como en el túnel.

### **8.3 OBRAS DE DERIVACIÓN**

- Se deberá necesariamente considerar el mantenimiento permanente de estas obras en especial las obras de captación de las quebradas, a fin de evitar la acumulación de material detrítico, principalmente en la época de lluvias.

### **8.3.1 CANAL DE CONDUCCIÓN**

- Cualquier obra de derivación que se ejecute en este tipo de terreno, debe considerar el efecto desfavorable de la presencia de material orgánico y arcilloso, el cual en lo posible debe ser eliminado, asentando el canal en roca firme.
- Se deberá monitorear la posible aparición de filtraciones en el canal de derivación, a fin de repararla de manera inmediata de ser necesario.
- Se recomienda el uso de voladura controlada y de avance en dirección del trazo, evitando daños mayores al macizo rocoso que puedan afectar sus condiciones de estabilidad, no debiendo emplearse calambucos ni perforaciones perpendiculares al plano de inclinación del talud.

### **8.3.2 TÚNEL DE CONDUCCIÓN**

- Se debe contar con un adecuado control geotécnico y geomecánico durante la ejecución de este tipo de obras a fin de evitar la ocurrencia de posibles accidentes.
- Se debe instalar de manera inmediata el sostenimiento temporal requerido, evitando exceder el tiempo de autosoporte, e instalar adecuadamente tanto este sostenimiento como el definitivo o permanente.
- Se deberá realizar dentro de lo posible inspecciones al interior del túnel a fin de determinar la posibilidad de fallas en el sostenimiento instalado y su reemplazo o reforzamiento inmediato.
- Se deberá efectuar al igual que en el canal, una voladura controlada, contorneando la corona, evitando afectar innecesariamente el macizo rocoso, además de contar con una adecuada ventilación que permita un trabajo adecuado en el frente.

#### 8.4 RECOMENDACIONES COMPLEMENTARIAS

- Un completo estudio de las múltiples alternativas, además de un estudio multidisciplinario, con la participación de Ingenieros Geólogos, Geotecnistas, Civiles e Hidráulicos, permiten de una manera más efectiva ~~para~~ la evaluación de los trabajos requeridos en este tipo de obras.
- Como un trabajo complementario a estas obras se plantea la necesidad de evaluar la nueva disposición de los caminos rurales existentes en el área del proyecto, a fin de garantizar un libre y adecuado transito para los pobladores de los caseríos cercanos.



## **9.- ANEXOS**

A Continuación se presentan los diferentes anexos utilizados en la ejecución del presente trabajo:

### **9.1 RESULTADOS DE INVESTIGACIONES IN SITU Y DATOS DE CAMPO**

#### **9.1.1 DESCRIPCIÓN DE CALICATAS**

## REGISTRO DE EXCAVACIONES

PROYECTO \_\_\_\_\_ CALICATA \_\_\_\_\_  
 UBICACIÓN \_\_\_\_\_ PROFUNDIDAD (m) \_\_\_\_\_  
 FECHA \_\_\_\_\_

PROF. (m)	TIPO	SIMB.	MUESTRA	DESCRIPCION	CLASIF. SUCS
0.10	EXCAVACION A CIELO ABIERTO				
0.20					
0.30					
0.40					
0.50					
0.60					
0.70					
0.80					
0.90					
1.00					
1.10					
1.20					
1.30					
1.40					
1.50					
1.60					
1.70					
1.80					
1.90					
2.00					
2.10					
2.20					
2.30					
2.40					
2.50					

OBSERVACIONES

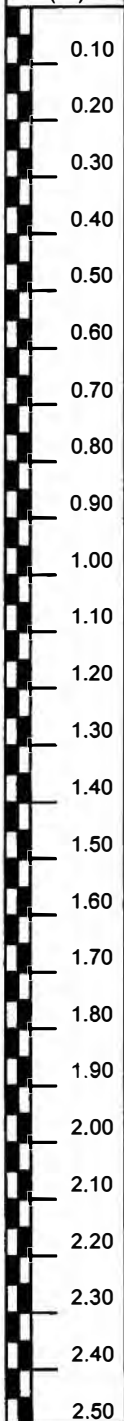

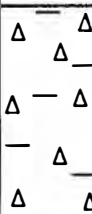
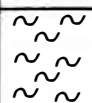
---



---

## REGISTRO DE EXCAVACIONES

PROYECTO	CANAL PERMANENTE -PRESA ANDAYCHAGUA	CALICATA	C-01
UBICACIÓN	17 m. Del punto 4 (aguas arriba)	PROFUNDIDAD (m)	1.10
FECHA	26/04/2001		

PROF. (m)	TIPO	SIMB.	MUESTRA	DESCRIPCION	CLASIF. SUCS
	EXCAVACION A CIELO ABIERTO			Turba Grava limosa con material orgánico  Graba: 40% Limo: 20% Turba: 40%	PT
0.10 0.20 0.30 0.40 0.50 0.60				Suelo morrenico residual Grava limo arcillosa gravas angulosas planares compuestas por roca metamorfica  Graba: 50% Limo: 30% Arcillas: 20%	GM
0.70 0.80 0.90 1.00				Roca: Filita intensamente fracturada moderadamente alterada	
1.10 1.20 1.30 1.40 1.50 1.60 1.70 1.80 1.90 2.00 2.10 2.20 2.30 2.40 2.50					

OBSERVACIONES



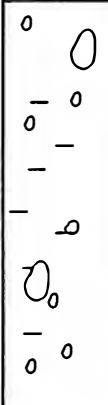
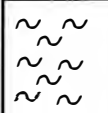
---



---

## REGISTRO DE EXCAVACIONES

PROYECTO	CANAL PERMANENTE -PRESA ANDAYCHAGUA	CALICATA	C-02
UBICACIÓN	a 7 mt. Del punto 06 aguas abajo	PROFUNDIDAD (m)	1.25
FECHA	26/04/2001		

PROF. (m)	TIPO	SIMB.	MUESTRA	DESCRIPCION	CLASIF. SUCS PT
	EXCAVACION A CIELO ABIERTO			Turba Grava limosa con materia orgánica  Graba: 20% Limo: 30% Turba: 40%	PT
0.20 0.30 0.40 0.50				Suelo morrenico residual bloques de grava envuelto en una matrix limo-arcillosa  Bloques: 20% Gravas: 40% Finos: 40%	GM-ML
0.60 0.70 0.80 0.90 1.00 1.10 1.20				Roca Filita intensamente fracturada moderadamente alterada	
1.30 1.40 1.50 1.60 1.70 1.80 1.90 2.00 2.10 2.20 2.30 2.40 2.50					

OBSERVACIONES

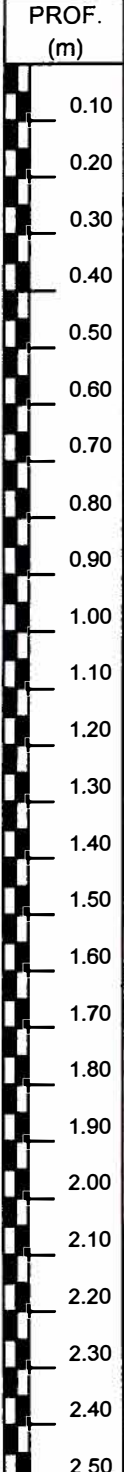


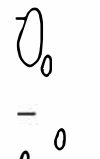
---



---

## REGISTRO DE EXCAVACIONES

PROYECTO	CANAL PERMANENTE -PRESA ANDAYCHAGUA	CALICATA	C-03
UBICACIÓN	a 23,4 mt. Del punto 8C aguas abajo	PROFUNDIDAD (m)	1.60
FECHA	26/04/2001		

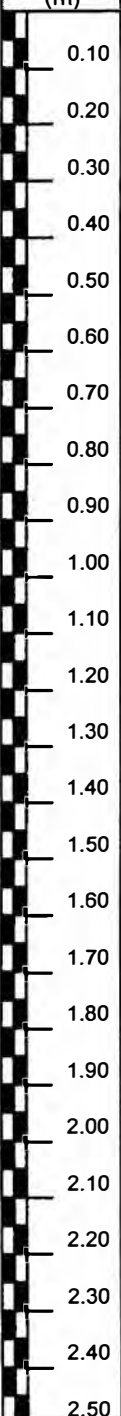

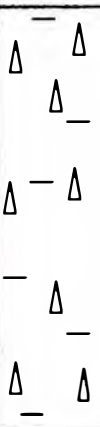

PROF. (m)	TIPO	SIMB.	MUESTRA	DESCRIPCION	CLASIF. SUCS
	EXCAVACION A CIELO ABIERTO			Turba Limo gravoso con materia orgánica Grava: 20% Limo: 40% Turba: 40%	PT
0.10 0.20 0.30				Suelo morrenico residual  Compacto consolidado, dificilmente se disgrega cohesivo, moderadamente plastico  Bloque: 20% Grava: 40% Finos: 40%	GC - GL
0.40 0.50 0.60 0.70 0.80 0.90 1.00 1.10 1.20 1.30 1.40				Roca Filita	
1.50 1.60 1.70 1.80 1.90 2.00 2.10 2.20 2.30 2.40 2.50					

OBSERVACIONES

---

## REGISTRO DE EXCAVACIONES

PROYECTO	CANAL PERMANENTE -PRESA ANDAYCHAGUA	CALICATA	C-04
UBICACIÓN	8 m. Del punto 09 (aguas abajo)	PROFUNDIDAD (m)	1. 3
FECHA	26/04/2001		

PROF. (m)	TIPO	SIMB.	MUESTRA	DESCRIPCION	CLASIF. SUCS
	EXCAVACION A CIELO ABIERTO			Turba Grava limosa con materia orgánica  <div style="text-align: right;">                         Grava : 20%                          Finos : 40%                          Turba : 40%                     </div>	PT
0.10 0.20 0.30 0.40 0.50				Limo Arcilla gravosa  Suelo morrenico residual cohesivo, no se disgrega con picota.  Se penetra con el pulgar. Humedo  <div style="text-align: right;">                         Finos: 70%                          Grava: 30%                     </div> Moderadamente plástico	ML - CL
0.60 0.70 0.80 0.90 1.00 1.10 1.20 1.30				Roca Filita	
1.40 1.50 1.60 1.70 1.80 1.90 2.00 2.10 2.20 2.30 2.40 2.50					

**OBSERVACIONES**

Angulo de soterramiento de la roca 16°

## REGISTRO DE EXCAVACIONES

PROYECTO CANAL PERMANENTE -PRESA ANDAYCHAGUA CALICATA C-05  
 UBICACIÓN \_\_\_\_\_ PROFUNDIDAD (m) 2.5  
 FECHA 26/04/2001

PROF. (m)	TIPO	SIMB.	MUESTRA	DESCRIPCION	CLASIF. SUCS
0.10	EXCAVACION A CIELO ABIERTO			Turba Limo arcilloso con materia organica  Finos: 30% Turba: 70%	PT
0.20					
0.30					
0.40					
0.50					
0.60					
0.70					
0.80					
0.90					
1.00					
1.10					
1.20					
1.30					
1.40					
1.50					
1.60					
1.70					
1.80					
1.90					
2.00					
2.10					
2.20					
2.30					
2.40					
2.50					

**OBSERVACIONES**

Se hundió la varretilla 1.5 mts.

Paredes estables.

## REGISTRO DE EXCAVACIONES

PROYECTO CANAL PERMANENTE -PRESA ANDAYCHAGUA CALICATA C-05'  
 UBICACIÓN \_\_\_\_\_ PROFUNDIDAD (m) 1.90  
 FECHA 27/04/2001

PROF. (m)	TIPO	SIMB.	MUESTRA	DESCRIPCION	CLASIF. SUCS
0.10	EXCAVACION A CIELO ABIERTO			Turba Limo arcilloso con materia organica  Finos: 30% Turba: 70%	PT
0.20					
0.30					
0.40					
0.50					
0.60					
0.70					
0.80					
0.90					
1.00					
1.10					
1.20					
1.30					
1.40					
1.50					
1.60					
1.70					
1.80					
1.90					
2.00				Roca Filita	
2.10					
2.20					
2.30					
2.40					
2.50					


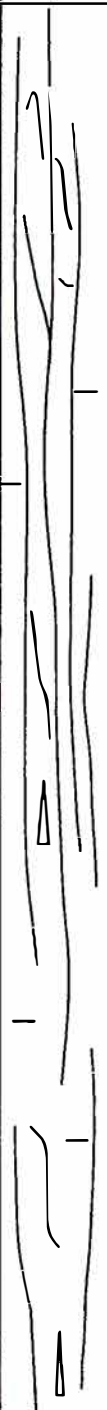
**OBSERVACIONES**

Paredes estables.



## REGISTRO DE EXCAVACIONES

PROYECTO	CANAL PERMANENTE -PRESA ANDAYCHAGUA	CALICATA	C-06
UBICACIÓN		PROFUNDIDAD (m)	2.50
FECHA	26/04/2001		

PROF. (m)	TIPO	SIMB.	MUESTRA	DESCRIPCION	CLASIF. SUCS
	EXCAVACION A CIELO ABIERTO			<p>Turba</p> <p>Limo arcilloso con materia organica</p> <p style="text-align: center;">Finos: 30%</p> <p style="text-align: center;">Turba: 70%</p>	PT


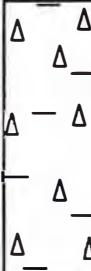

**OBSERVACIONES**

Se hundió la varretilla 1.5 mts.

Paredes estables.

## REGISTRO DE EXCAVACIONES

PROYECTO CANAL PERMANENTE -PRESA ANDAYCHAGUA CALICATA C-07  
 UBICACIÓN coincide con el punto 12 PROFUNDIDAD (m) 1.20  
 FECHA 26/04/2001

PROF. (m)	TIPO	SIMB.	MUESTRA	DESCRIPCION	CLASIF. SUCS
0.10 0.20 0.30 0.40 0.50 0.60 0.70	EXCAVACION A CIELO ABIERTO			Limo arcilloso con materia organica  Finos: 35% Turba: 65%	CL
0.80 0.90 1.00 1.10 1.20				Suelo coluvial, se indenta con el pulgar, cohesivo, moderadamente plastico, humedo  Finos: 70% Grava: 30%	CL-ML
1.30 1.40 1.50 1.60 1.70 1.80 1.90 2.00 2.10 2.20 2.30 2.40 2.50				Roca Filita	



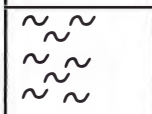
**OBSERVACIONES**

Anglo de soterramiento : 30°, paredes estables



## REGISTRO DE EXCAVACIONES

PROYECTO	CANAL PERMANENTE -PRESA ANDAYCHAGUA	CALICATA	C-09
UBICACIÓN	a 32 mts. Del punto 15 , aguas abajo	PROFUNDIDAD (m)	1.8
FECHA	27/04/2001		

PROF. (m)	TIPO	SIMB.	MUESTRA	DESCRIPCION	CLASIF. SUCS
	EXCAVACION A CIELO ABIERTO			<p>0.10</p> <p>0.20 Turba</p> <p>0.30 Limo arcillosa con materia organica</p> <p>0.40</p> <p>0.50 Finos: 30%</p> <p>0.60 Turba: 60%</p> <p>0.70 Grava: 10%</p> <p>0.80</p> <p>0.90</p> <p>1.00</p> <p>1.10</p> <p>1.20</p> <p>1.30</p> <p>1.40</p> <p>1.50</p> <p>1.60</p>	PT
<p>1.70</p> <p>1.80</p> <p>1.90</p> <p>2.00</p> <p>2.10</p> <p>2.20</p> <p>2.30</p> <p>2.40</p> <p>2.50</p>				<p>Roca filita</p>	

OBSERVACIONES

---



---

### REGISTRO DE EXCAVACIONES

PROYECTO CANAL PERMANENTE -PRESA ANDAYCHAGUA CALICATA C-10  
 UBICACIÓN \_\_\_\_\_ PROFUNDIDAD (m) 1.70  
 FECHA 27/04/2001

PROF. (m)	TIPO	SIMB.	MUESTRA	DESCRIPCION	CLASIF. SUCS
0.10	EXCAVACION A CIELO ABIERTO			Turba Limo arcilloso con materia organica  finos: 20% Grava: 20% Turba: 50% Bloques: 10%	OM - OL
0.20					
0.30					
0.40					
0.50					
0.60					
0.70					
0.80					
0.90					
1.00					
1.10					
1.20					
1.30					
1.40					
1.50					
1.60					
1.70					
1.80					
1.90					
2.00					
2.10				Roca Filita	
2.20					
2.30					
2.40					
2.50					

OBSERVACIONES  
 Paredes estables

## REGISTRO DE EXCAVACIONES

PROYECTO	CANAL PERMANENTE -PRESA ANDAYCHAGUA	CALICATA	C-11
UBICACIÓN		PROFUNDIDAD (m)	1.3
FECHA	27/04/2001		

PROF. (m)	TIPO	SIMB.	MUESTRA	DESCRIPCION	CLASIF. SUCS
<div style="display: flex; flex-direction: column; align-items: center;"> </div>	EXCAVACION A CIELO ABIERTO			Turba Limo arcilloso con materia organica  finos: 20% Grava: 20% Turba: 50% Bloques: 10%	OM-OL
0.10 0.20 0.30 0.40 0.50				Suelo coluvio morrenico  Se indenta ligeramente con el pulgar. Poco plastico cohesivo.  Grava: 40 - 60 % Finos: 40 - 60 %	GM-ML
0.60 0.70 0.80 0.90 1.00 1.10 1.20 1.30 1.40 1.50				Roca Filita	
1.60 1.70 1.80 1.90 2.00 2.10 2.20 2.30 2.40 2.50					

**OBSERVACIONES**

Ángulo de soterramiento: 34°

**9.1.2 MEDICIONES DE DISCONTINUIDADES**

## HOJA DE DATOS LINEA DE DETALLE SIMPLIFICADA

**PROYECTO :** Obras de Derivación Presa Andaychagua  
**UBICACION :** Zona de Obras de Toma  
**ORIENTACION LINEA (DIR/BZ) :** 130/0  
**REALIZADO POR :** JCS - RCC **FECHA :** Mayo 2001  
**OBSERVACIONES :** Roca Mármol - GSI: F/B

NUMBERO	BUZAMIENTO	DIRECCION BUZAMIENTO	REPETICIONES	OBSERVACIONES
1	65	150	4	
2	85	40	5	
3	20	200	3	
4	80	160	3	
5	90	40	3	
6	50	260	2	
7	45	80	3	
8	80	140	3	
9	90	40	3	
10	80	200	3	
11	80	150	4	
12	40	270	3	
13	80	150	3	
14	85	220	5	
15	40	250	3	
16	80	130	4	
17	85	210	4	
18	20	220	4	
19	70	160	4	
20	10	260	4	
21	90	220	3	
22	70	130	6	
23	80	210	3	
24	80	320	2	
25	15	250	3	
26	60	150	8	
27	90	295	3	
28	85	230	5	
29	10	80	3	
30				
31				
32				
33				
34				
35				
36				
37				
38				
39				
40				



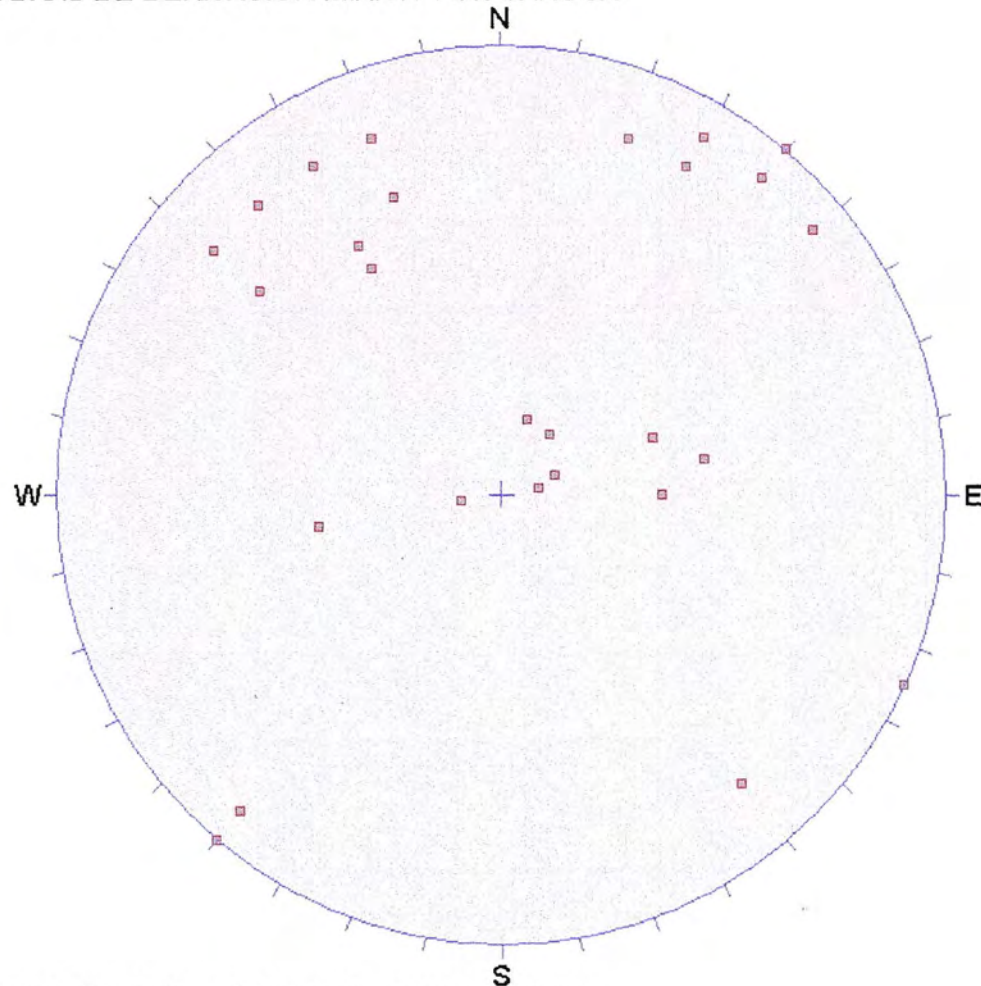
## HOJA DE DATOS LINEA DE DETALLE SIMPLIFICADA

**PROYECTO :** Obras de Derivación Presa Andaychagua  
**UBICACION :** Zona de Obras de Toma  
**ORIENTACION LINEA (DIR/BZ) :** 110/0  
**REALIZADO POR :** JCS - RCC **FECHA :** Mayo 2001  
**OBSERVACIONES :** Roca Filitas - GSI: IF/R PERPENDICULAR A LA FOLIACION -  
 IF/P PARALELA A LA FOLIACION

NUMBERO	BUZAMIENTO	DIRECCION BUZAMIENTO	REPETICIONES	OBSERVACIONES
1	40	320	6	
2	60	240	10	FOLIACION
3	45	340	8	
4	65	180	3	
5	70	150	3	
6	80	330	7	
7	70	230	10	FOLIACION
8	75	335	6	
9	75	245	10	FOLIACION
10	50	110	7	
11	65	345	5	
12	60	245	10	FOLIACION
13	90	130	6	
14	85	330	4	
15	45	60	6	
16	60	250	10	FOLIACION
17	90	160	5	
18	35	70	5	
19	70	230	10	FOLIACION
20				
21				
22				
23				
24				
25				
26				
27				
28				
29				
30				
31				
32				
33				
34				
35				
36				
37				
38				
39				
40				

### 9.1.3 PROYECCIONES ESTEREOGRÁFICAS

OBRAS DE DERIVACION MINA ANDAYCHAGUA



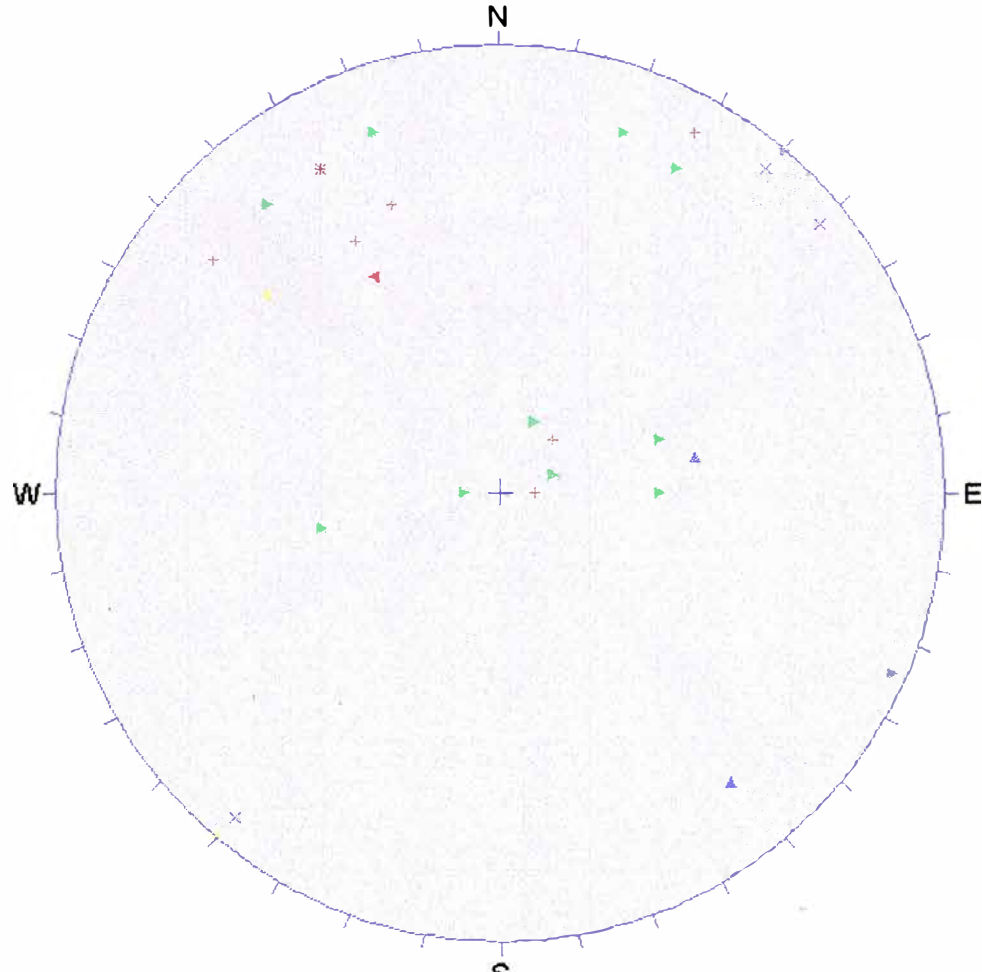
ZONA DE OBRAS DE TOMA - ROCA MARMOL

□ Poles

---

Equal Angle  
Lower Hemisphere  
106 Poles  
29 Entries

OBRAS DE DERIVACION MINA ANDAYCHAGUA



ZONA DE OBRAS DE TOMA - ROCA MARMOL

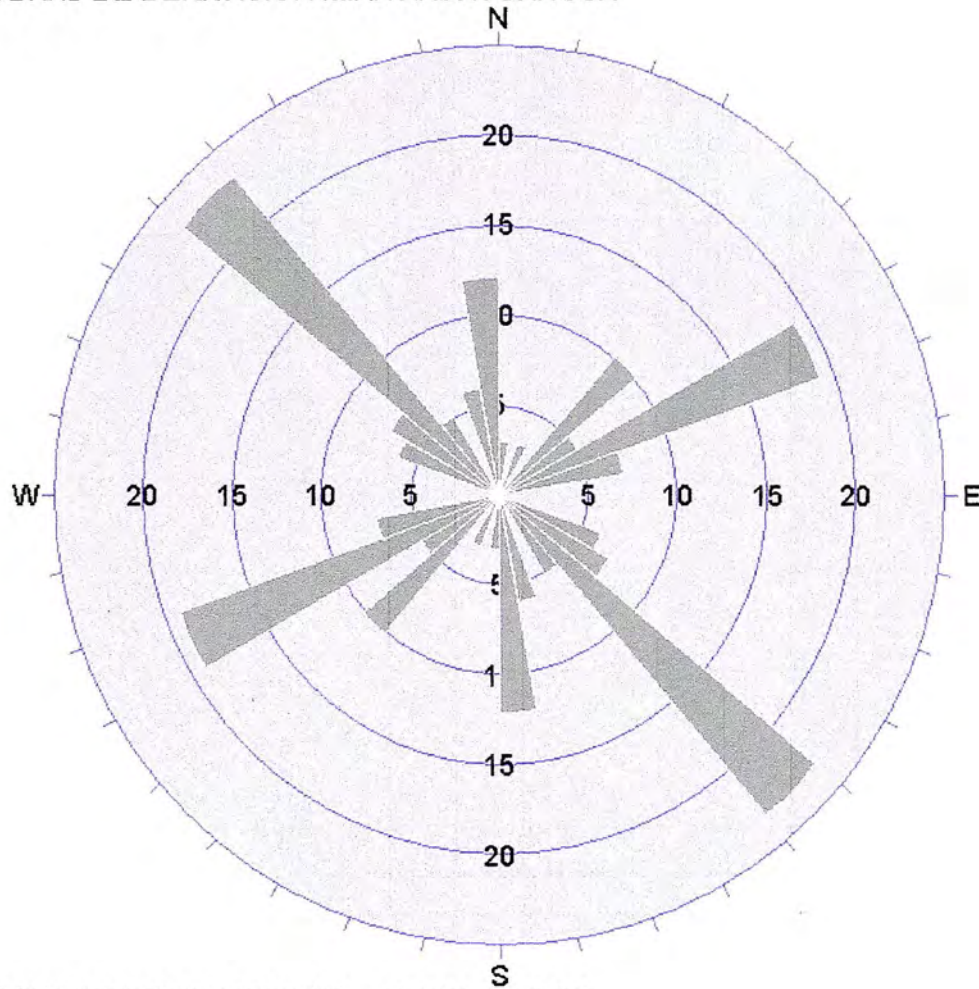
Number of Poles

- 1 pole
- ▲ 2 poles
- ▶ 3 poles
- ⊕ 4 poles
- ⊗ 5 poles
- ◆ 6 poles
- \* 7 poles
- ◄ 8 poles

---

Equal Angle  
Lower Hemisphere  
106 Poles  
29 Entries

OBRAS DE DERIVACION MINA ANDAYCHAGUA



ZONA DE OBRAS DE TOMA - ROCA MARMOL

Apparent Strike  
25 max planes / arc  
at outer circle

Trend / Plunge of  
Face Normal = 0, 90  
(directed away from viewer)

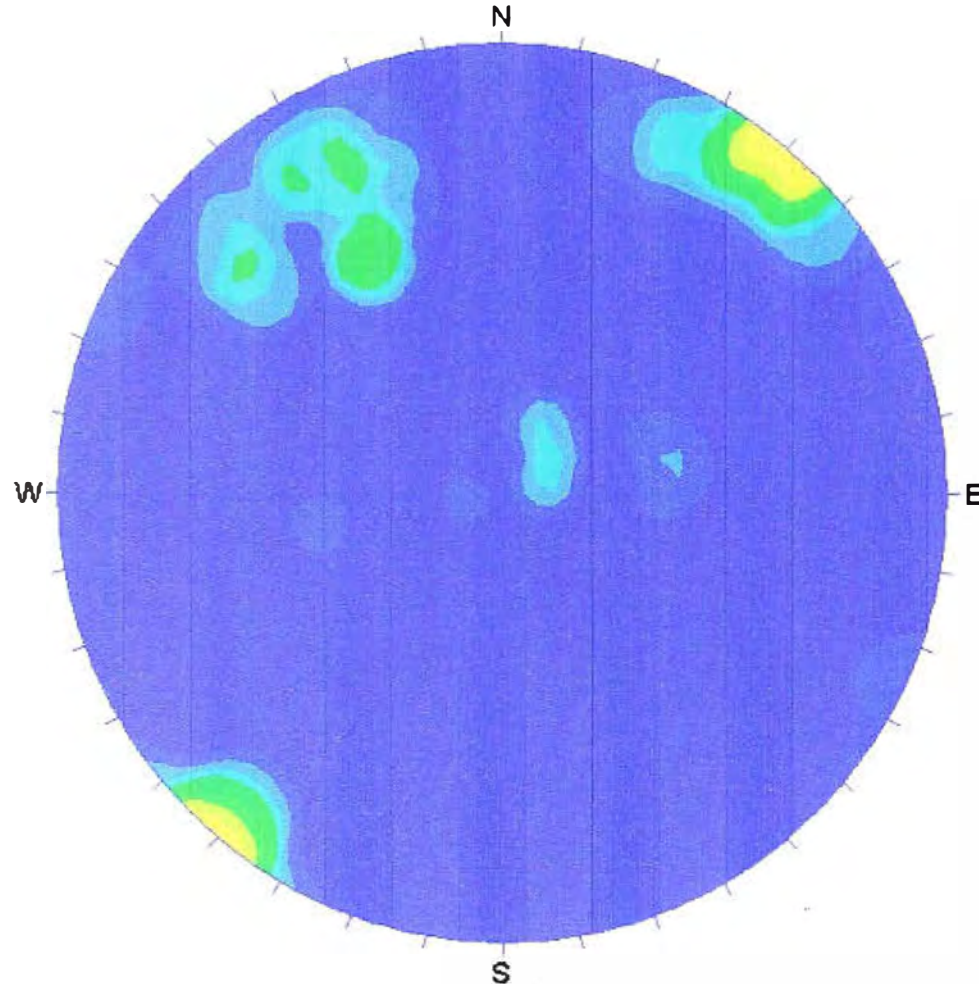
No Bias Correction

---

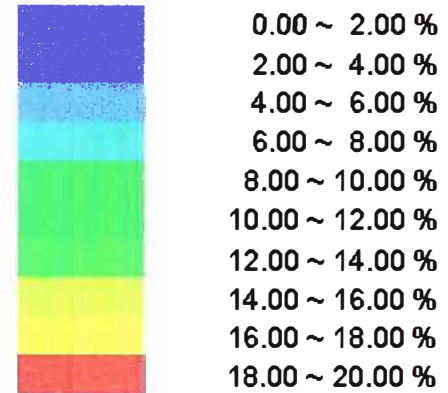
106 Planes Plotted  
Within 0 and 90  
Degrees of Viewing  
Face



OBRAS DE DERIVACION MINA ANDAYCHAGUA



**Fisher  
Concentrations**  
% of total per 1.0 % area



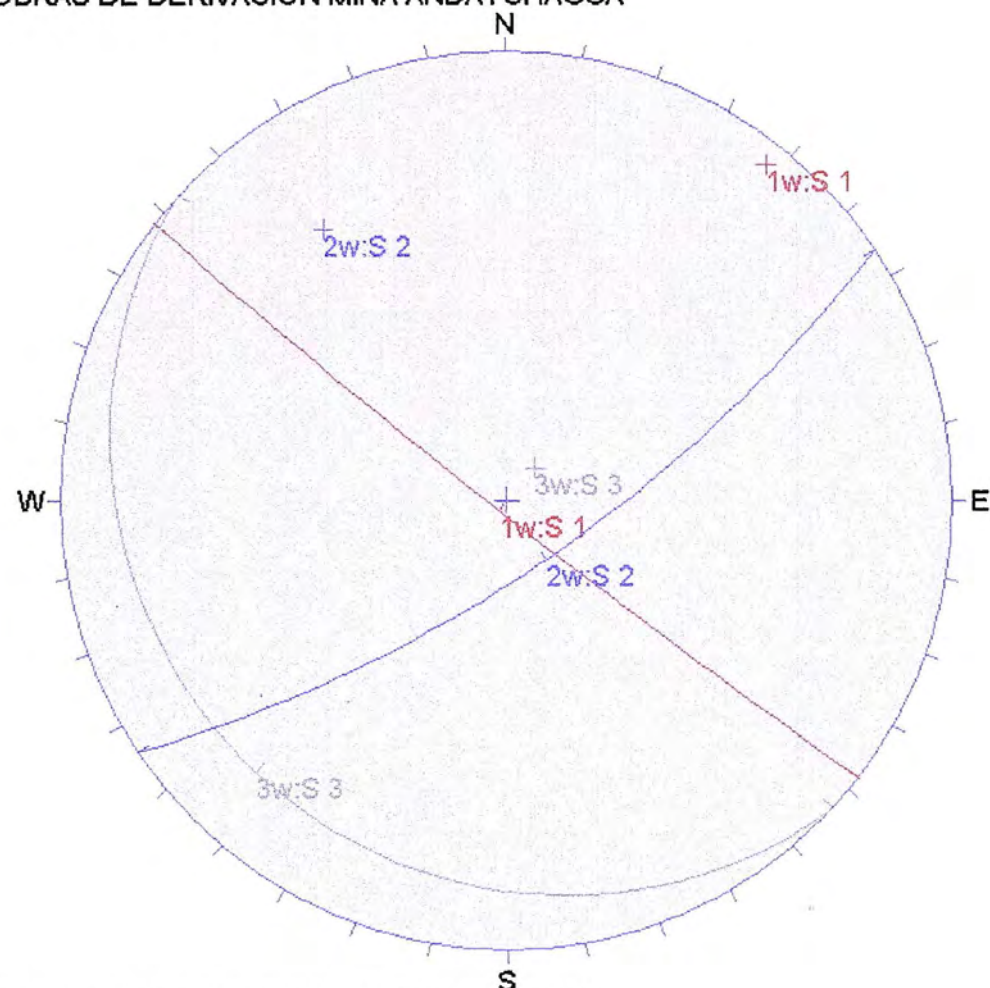
No Bias Correction  
Max. Conc. = 18.0159%

---

Equal Angle  
Lower Hemisphere  
106 Poles  
29 Entries

ZONA DE OBRAS DE TOMA - ROCA MARMOL

OBRAS DE DERIVACION MINA ANDAYCHAGUA



ZONA DE OBRAS DE TOMA - ROCA MARMOL

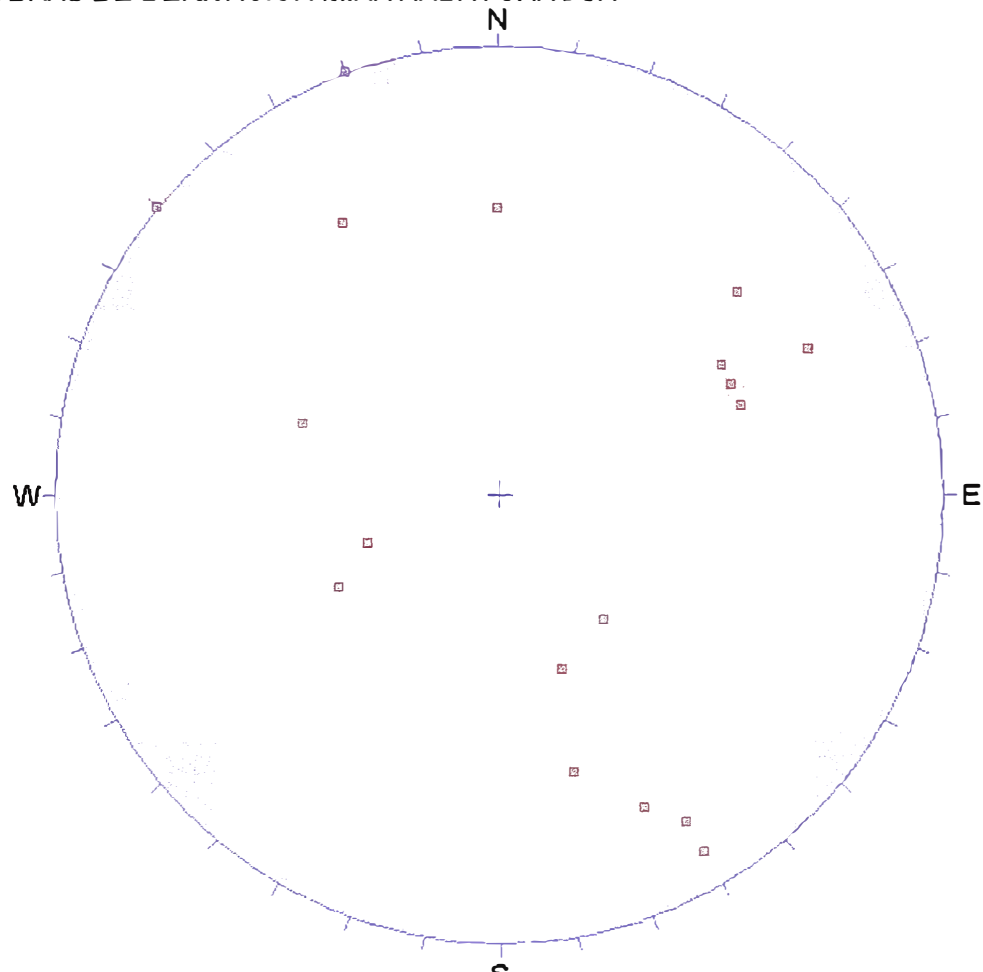
Orientations

ID		Dip / Direction
1	w	87 / 218
2	w	72 / 146
3	w	11 / 223

---

Equal Angle  
Lower Hemisphere  
106 Poles  
29 Entries

OBRAS DE DERIVACION MINA ANDAYCHAGUA



ZONA DE OBRAS DE TOMA - ROCA FILITA

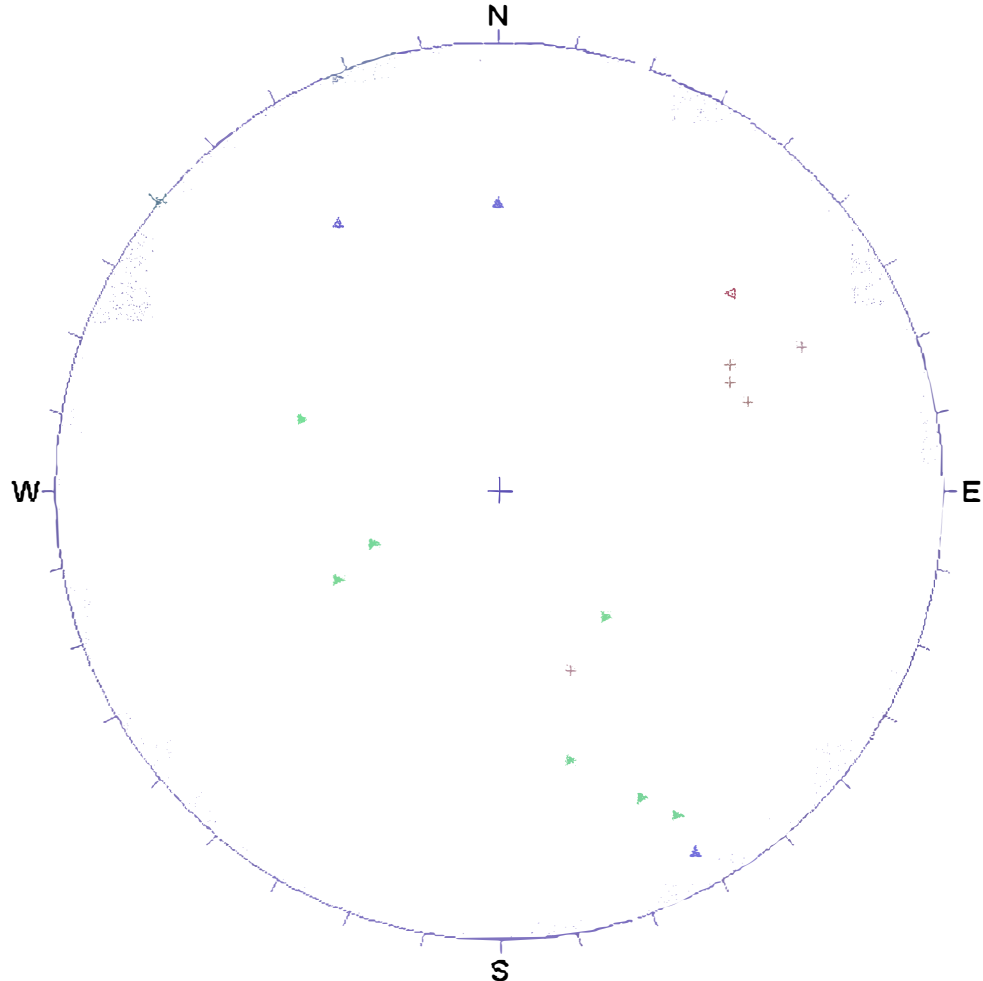
Poles

---

Equal Angle  
Lower Hemisphere  
131 Poles  
19 Entries



OBRAS DE DERIVACION MINA ANDAYCHAGUA



ZONA DE OBRAS DE TOMA - ROCA FILITA

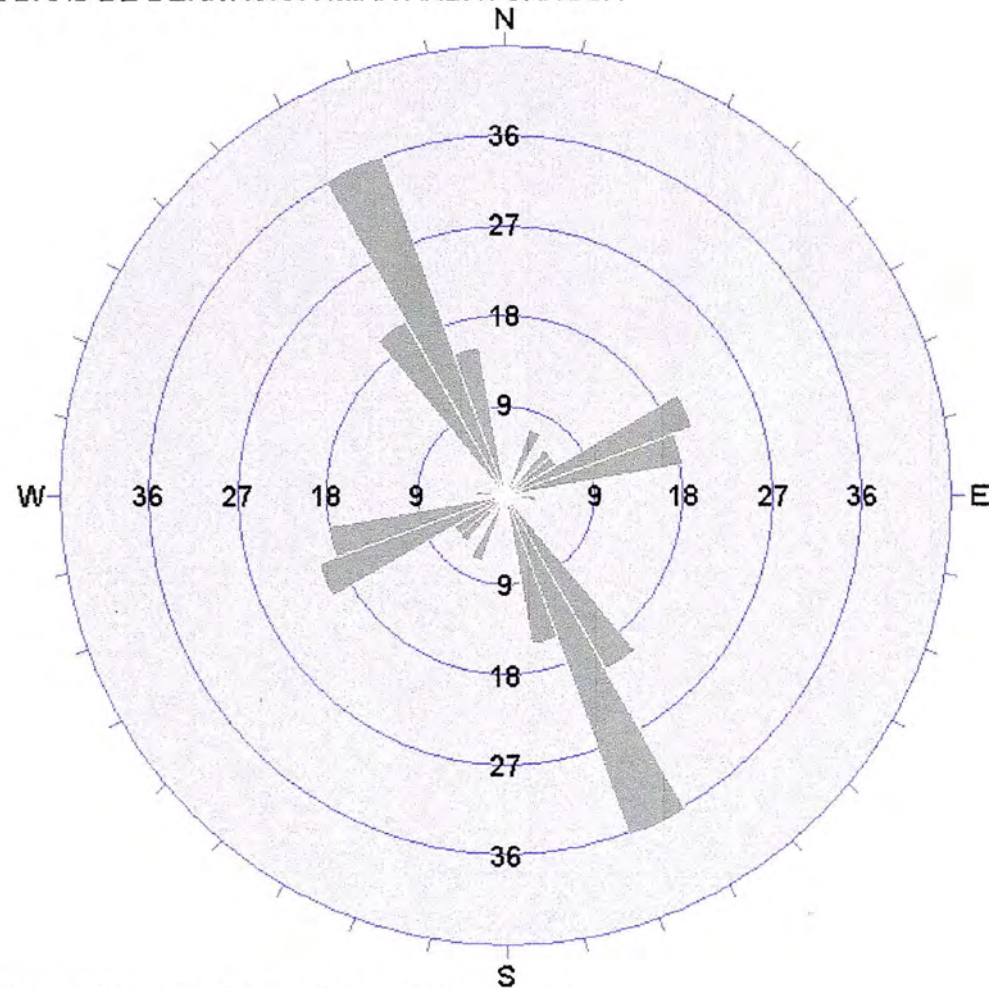
Number of Poles

- ◻ 1 pole
- ▲ 2 to 4 poles
- ▶ 5 to 7 poles
- ⊕ 8 to 10 poles
- ⊗ 11 to 13 poles
- ⊖ 14 to 16 poles
- ✱ 17 to 19 poles
- △ 20 to 22 poles

---

Equal Angle  
Lower Hemisphere  
131 Poles  
19 Entries

OBRAS DE DERIVACION MINA ANDAYCHAGUA



ZONA DE OBRAS DE TOMA - ROCA FILITA

Apparent Strike  
45 max planes / arc  
at outer circle

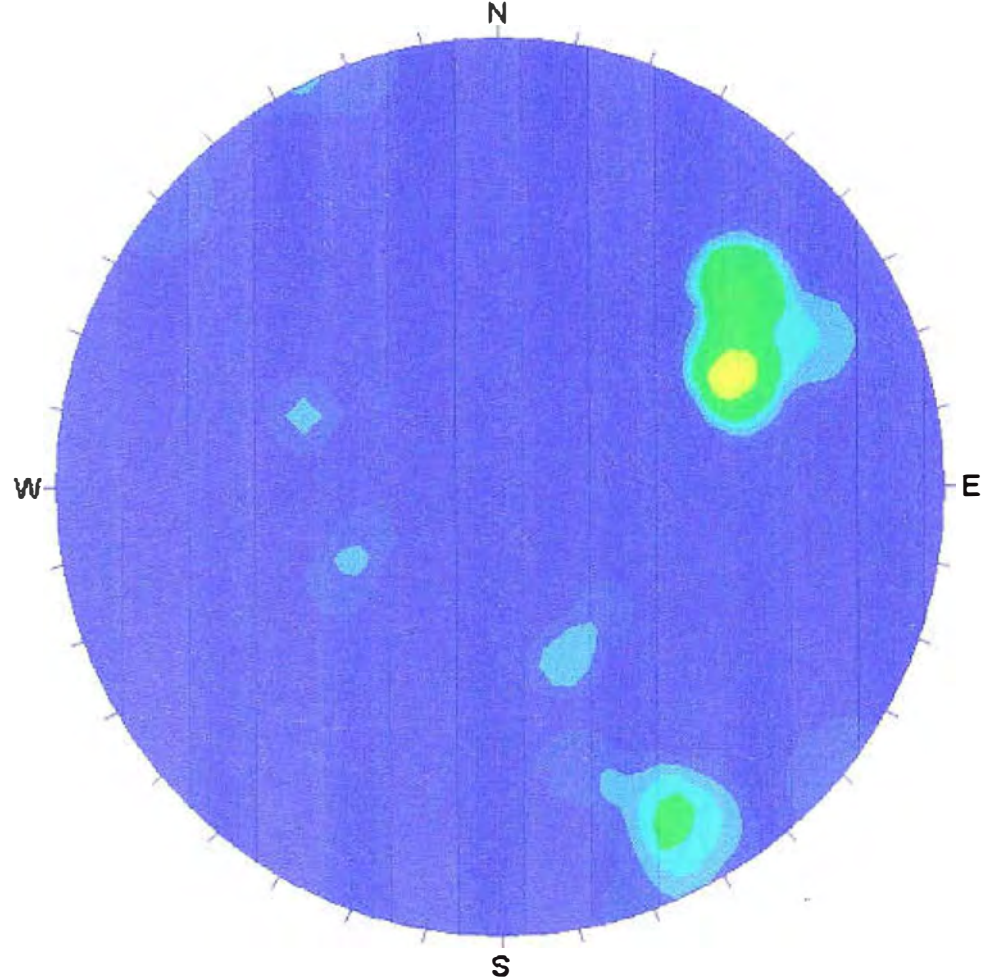
Trend / Plunge of  
Face Normal = 0, 90  
(directed away from viewer)

No Bias Correction

---

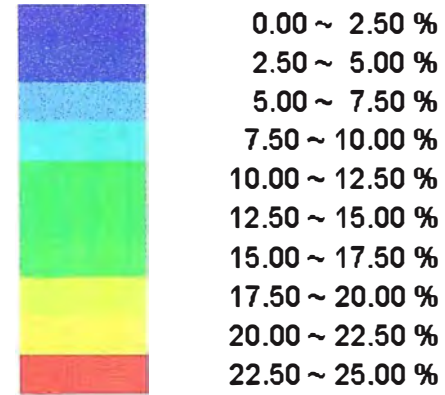
131 Planes Plotted  
Within 0 and 90  
Degrees of Viewing  
Face

OBRAS DE DERIVACION MINA ANDAYCHAGUA



ZONA DE OBRAS DE TOMA - ROCA FILITA

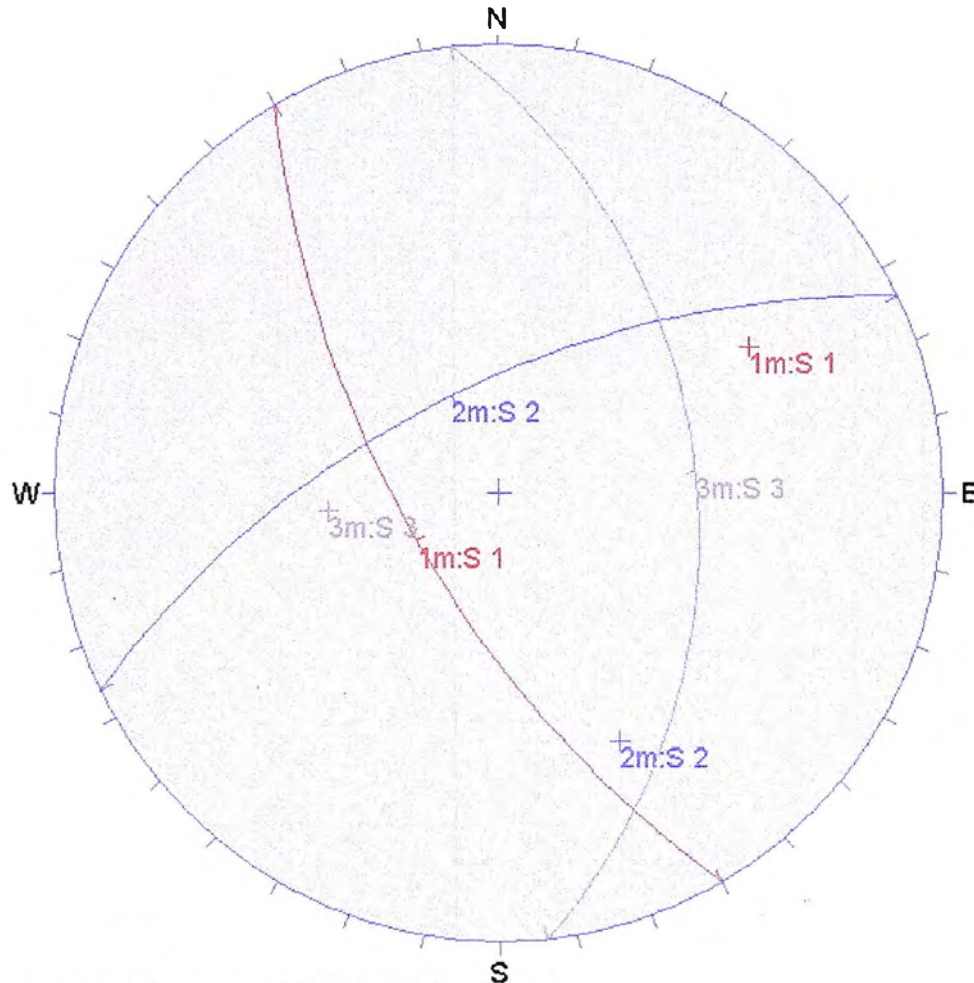
Fisher  
Concentrations  
% of total per 1.0 % area



No Bias Correction  
Max. Conc. = 21.6802%

Equal Angle  
Lower Hemisphere  
131 Poles  
19 Entries

OBRAS DE DERIVACION MINA ANDAYCHAGUA



ZONA DE OBRAS DE TOMA - ROCA FILITA

Orientations

ID		Dip / Direction
1	m	66 / 240
2	m	63 / 334
3	m	42 / 084

---

Equal Angle  
Lower Hemisphere  
131 Poles  
19 Entries

#### **9.1.4 TABLAS Y CUADROS**



(GSI) MODIFICADO  
 CARACTERÍSTICAS DE LA MASA DE ROCA  
 PARA LA ESTIMACION DE SU RESISTENCIA.

SE BASA EN CONDICIONES ESTRUCTURALES  
 Y SUPERFICIALES DE LA ROCA,  
 ELIGIENDOSE EN EL CUADRO LA CATEGORIA  
 QUE MAS SE ACERCA A LA DESCRIPCION  
 DE LAS CONDICIONES DE CAMPO NO  
 DISTURBADAS. CONSIDERAR QUE LAS  
 EXPOSICIONES DE LA PARED ROCOSA  
 FORMADA POR LA VOLADURA PUEDEN DAR  
 UNA IMPRESION DESFAVORABLE DE LA  
 MASA ROCOSA, POR LO QUE SE DEBE  
 TOMAR EN CUENTA ALGUNOS AJUSTES POR  
 DAÑOS DE VOLADURA. EL EXAMEN DE  
 TESTIGOS DE PERFORACION O DE PAREDES  
 CON VOLADURA CONTROLADA, PUEDEN  
 USARSE PARA ESTOS AJUSTES. ES TAMBIEN  
 IMPORTANTE, PARA RECONOCER EL GRADO  
 DE FRACTURAMIENTO CONSIDERAR EL  
 TAMAÑO DEL BLOQUE CON EL TAMAÑO DE  
 LA EXCAVACION.

ESTRUCTURA

CONDICION SUPERFICIAL

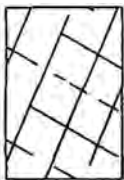
MUY BUENA (MUY RESISTENTE, FRESCA)  
 SUPERFICIE DE LAS DISCONTINUIDADES MUY RUGOSAS  
 E INALTERADAS, CERRADAS. (Rc > 250 MPa)  
 (SE ASTILLA CON GOLPES DE PICOTA)

BUENA (RESISTENTE, LEVEMENTE ALTERADA)  
 DISCONTINUIDADES RUGOSAS, LEV. ALTERADA, MANCHAS  
 DE OXIDACION, LIGER. ABIERTA. (Rc 100 A 250 MPa)  
 (SE ROMPE CON VARIOS GOLPES DE PICOTA)

REGULAR (MODER. RESIST., LEVE A MODER. ALTER.)  
 DISCONTINUIDADES LISAS, MODERADAMENTE ALTERADA,  
 LIGERAMENTE ABIERTAS. (Rc 50 A 100 MPa)  
 (SE ROMPE CON UNO O DOS CON GOLPES DE PICOTA)

POBRE (BLANDA, MUY ALTERADA)  
 SUPERFICIE PULIDA O CON ESTRICIONES, MUY ALTERADA,  
 RELLENO COMPACTO O CON FRAGMENTOS DE ROCA.  
 (Rc 25 A 50 MPa) - (SE INDENTA SUPERFICIALMENTE)

MUY POBRE (MUY BLANDA, EXTREMAD. ALTERADA)  
 SUPERFICIE PULIDA Y ESTRIADA, MUY ABIERTA CON  
 RELLENO DE ARCILLAS BLANDAS. (Rc < 25 MPa)  
 (SE DISGREGA O INDENTA PROFUNDAMENTE)



LEVEMENTE FRACTURADA.  
 TRES A MENOS SISTEMAS  
 DE DISCONTINUIDADES MUY  
 ESPACIADAS ENTRE SI.  
 (RQD 75 - 90)  
 (2 A 6 FRACT. POR METRO)  
 (RQD = 115 - 3.3 Jn.)

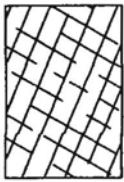
LF/MB  
 SB/VG

LF/B  
 SB/G

LF/R  
 SB/F

-

-



MODERADAMENTE FRACTURADA.  
 MUY BIEN TRABADA, NO  
 DISTURBADA, BLOQUES  
 CUBICOS FORMADOS POR  
 TRES SISTEMAS DE DISCON-  
 TINUIDADES ORTOGONALES.  
 (RQD 50 - 75)  
 (6 A 12 FRACT. POR METRO)

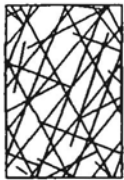
F/MB  
 B/VG

F/B  
 B/G

F/R  
 B/F

F/P  
 B/P

-



MUY FRACTURADA.  
 MODERADAMENTE TRABADA,  
 PARCIALMENTE DISTURBADA,  
 BLOQUES ANGULOSOS  
 FORMADOS POR CUATRO O  
 MAS SISTEMAS DE DISCON-  
 TINUIDADES. (RQD 25 - 50)  
 (12 A 20 FRACT. POR METRO)

MF/MB  
 VB/VG

MF/B  
 VB/G

MF/R  
 VB/F

MF/P  
 VB/P

MF/MP  
 VB/VP



INTENSAMENTE FRACTURADA.  
 PLEGAMIENTO Y FALLAMIENTO,  
 CON MUCHAS DISCON-  
 TINUIDADES INTERCEPTADAS  
 FORMANDO BLOQUES  
 ANGULOSOS O IRREGULARES.  
 (RQD 0 - 25)  
 (MAS DE 20 FRACT. POR METRO)

-

IF/B  
 BS/G

IF/R  
 BS/F

IF/P  
 BS/P

IF/MP  
 BS/VP



TRITURADA O BRECHADA.  
 LIGERAMENTE TRABADA, MASA  
 ROCOSA EXTREMADAMENTE  
 ROTA CON UNA MEZCLA DE  
 FRAGMENTOS FACILMENTE  
 DISGREGABLES, ANGULOSOS Y  
 REDONDEADOS.  
 (SIN RQD)

-

-

T/R  
 C/F

T/P  
 C/P

T/MP  
 C/VP

CRITERIOS PARA APLICAR LA CLASIFICACION DE BIENIAWSKI (1989)

I. PARAMETROS DE CALIFICACION

RMR (1) RESISTENCIA A LA COMPRESION SIMPLE DE LA ROCA INTACTA																
VALOR (kg/cm <sup>2</sup> )	> 2500	1000 - 2500	500 - 1000	250 - 500	50 - 250	10 - 50	< 10									
VALORACION	15	12	7	4	2	1	0									
RMR (2 + 3) RQD Y SEPARACION DE DIACLASAS																
JUNTAS POR METRO	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
VALORACION	40	34	31	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17
JUNTAS POR METRO	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	
VALORACION	17	16	15	14	14	13	13	12	12	11	11	10	10	9	9	
JUNTAS POR METRO	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	
VALORACION	9	8	8	8	7	7	7	7	7	6	6	6	6	6	6	
RMR (4)	ESTADO DE LAS DIACLASAS															
PERSISTENCIA	< 1	1 - 3 m.	3 - 10 m.	10 - 20 m.	20 m.											
VALORACION	6	4	2	1	0											
ABERTURA	0	< 0,1 mm.	0,1 - 1 mm.	1 - 5 mm.	5 mm.											
VALORACION	6	5	4	1	0											
RUGOSIDAD	MUY RUGOSA	RUGOSA	LIGERAMENTE RUGOSA	LISA	ESPEJO DE FALLA											
VALORACION	6	5	3	1	0											
RELLENO	NO HAY	DURO CON ESPESOR < 5 mm.	DURO CON ESPESOR > 5 mm.	BLANDO CON ESPESOR < 5 mm.	BLANDO CON ESPESOR > 5 mm.											
VALORACION	6	4	2	2	0											
GRADO DE METEORIZACION	NO AFECTADO	LIGERO	MODERADO	ALTO	DESCOMPUESTO											
VALORACION	6	5	3	1	0											
RMR (5)	EFECTO DEL AGUA															
ESTADO	SECO	LIG. HUMEDO	HUMEDO	GOTEANDO	CHORREANDO											
VALORACION	15	10	7	4	0											

<sup>1</sup> MODIFICADA POR GEOCONTROL S.A (1984).

## II. CORRECCION SEGUN LA ORIENTACION DE LA OBRA

DIRECCION PERPENDICULAR AL EJE DEL TUNEL				DIRECCION PARALELA AL EJE DEL TUNEL		BUZAMIENTO 0° - 20° CUALQUIER DIRECCION
EXCAVACION HACIA EL BUZAMIENTO		EXCAVACION CONTRA EL BUZAMIENTO				
BUZAMIENTO 45° - 90°	BUZAMIENTO 20° - 45°	BUZAMIENTO 45° - 90°	BUZAMIENTO 20° - 45°	BUZAMIENTO 45° - 90°	BUZAMIENTO 20° - 45°	
MUY FAVORABLE	FAVORABLE	MEDIA	DESFAVORABLE	MUY DESFAVORABLE	MEDIA	MEDIA
0	-2	-5	-10	-12	-5	-5

<sup>1</sup> MODIFICADA POR GEOCONTROL S.A (1984).

## III. TIPOS DE MASAS ROCOSAS DE ACUERDO A SUS INDICES

INDICE	100-81	80-61	60-41	40-21	20
TIPO N°	I	II	III	IV	V
DESCRIPCION	MUY BUENA	BUENA	REGULAR	POBRE	MUY POBRE

## IV. SIGNIFICADO DE LOS TIPOS DE MASA ROCOSA

TIPO N°	I	II	III	IV	V
TIEMPO APROXIMADO DE AUTOSOORTE	LUZ = 15 m. 20 AÑOS	LUZ = 10 m. 1 AÑO	LUZ = 5 m. 1 SEMANA	LUZ = 2.5 m. 10 HORAS	LUZ = 1 m. 30 MINUTOS
COHESION DE LA MASA ROCOSA	400 kPa	300 - 400 kPa	200 - 300 kPa	100 - 200 kPa	< 100 kPa
ANGULO DE FRICCION DE LA MASA ROCOSA	> 45°	35° - 45°	25° - 35°	15° - 25°	< 15°



CLASIFICACION DE MASAS ROCOSAS PARA ESTIMAR EL REFUERZO EN EXCAVACIONES SUBTERRANEAS (SEGUN BARTON) - INDICE "Q"

INDICE DE CALIDAD DE LA ROCA		NUMERO DE DISCONTINUIDADES		FACTOR DE RUGOSIDAD DE LAS DISCONTINUIDADES		FACTOR DE ALTERACION DE LAS DISCONTINUIDADES		FACTOR DE REDUCCION POR CONTENIDO DE AGUA EN DISCONTINUIDADES		FACTOR DE REDUCCION POR TENSIONES	
DESCRIPCION	RQD	DESCRIPCION	Jn	DESCRIPCION	Jr	DESCRIPCION	Ja	DESCRIPCION	Jw	DESCRIPCION	SRF
MUY POBRE	0-25	MASNA O CON MUY POCAS DISCONTINUIDADES.	0.5 o 1.0	A DIACLASAS DISCONTINUAS	4	A AJUSTADAS, RELLENAS CON MATERIAL COMPACTO, IMPERMEABLE E INESTABLE (CUARZO O EPIDOTA)	0.78	SECAS O FLUJOS BAJOS (<math>S \le 1/min.</math>)	1	A MUCHAS ZONAS DEBILES DE ARCILLA CON EVIDENCIAS DE DESINTEGRACION QUIMICA. ROCA CIRCUNDANTE MUY SUELTA. CUALQUIER PROFUNDIDAD.	10
POBRE	26-50	UN SISTEMA DE DISCONTINUIDADES		B RUGOSAS E IRREGULARES, ONDULANTES	2	B SUPERFICIES INALTERADAS, LIGERAS MANCHAS DE OXIDACION	1	FLUJOS A PRESIONES MEDIAS QUE OCASIONEN EROSION DEL MATERIAL DE RELLENO	0.68	B ZONA DEBIL AISLADA CON ARCILLA O ROCA DESINTEGRADA. PROFUNDIDAD <math>< 50 m.</math>	5
REGULAR	50-75	UN SISTEMA PRINCIPAL Y UNO SECUNDARIO	3	C LISAS, ONDULANTES	2	C SUPERFICIES LIGERAMENTE ALTERADAS, CUBIERTAS CON MATERIAL GRANULAR NO ARCILLOSO, PRODUCTO DE LA DESINTEGRACION DE LA ROCA	2			C ZONA DEBIL AISLADA CON ARCILLA O ROCA DESINTEGRADA. PROFUNDIDAD >math> 80 m.</math>	2.5
BUENA	75-90	DOS SISTEMAS DE DISCONTINUIDADES	4	D LLISTROSAS, ONDULANTES	1.5	D CAPAS SUPERFICIALES DE MATERIAL LIMOSO O ARCILLOSO-ARENOSO, CON UNA PEQUERA FRACCION COHESIVA	3	FLUJOS O PRESIONES ALTAS EN ROCA COMPETENTE CON DIACLASAS	0.5	D MUCHAS ZONAS DE FALLA EN ROCA COMPETENTE. ROCA CIRCUNDANTE SUELTA. CUALQUIER PROFUNDIDAD.	7.8
EXCELENTE	90-100	DOS SISTEMAS PRINCIPALES Y UNO SECUNDARIO	6	E RUGOSAS O IRREGULARES, PLANARES	1.5	E CAPAS SUPERFICIALES DE ARCILLA (CALCINITA, MICA, CLORITA, ETC.) CANTIDADES PEQUEÑAS DE ARCILLA EXPANSIVA EN CAPAS DE 1-2 mm. DE ESPESOR	4	FLUJOS A PRESIONES ALTAS CON EROSION CONSIDERABLE DEL MATERIAL DE RELLENO	0.33	E ZONA DE FALLA AISLADA EN ROCA COMPETENTE. PROFUNDIDAD <math>< 30 m.</math>	8
NOTAS:		TRES SISTEMAS DE DISCONTINUIDADES	9	F LISAS, PLANARES	1.0	F RELLENO GRANULAR NO COHESIVO, ROCA DESINTEGRADA LIBRE DE PARTICULAS ARCILLOSAS	4	FLUJOS O PRESIONES EXCEPCIONALMENTE ALTAS LUEGO DEL DISPARO. DISMINUYENDO CON EL TIEMPO	0.2 o 0.1	F ZONA DE FALLA AISLADA EN ROCA COMPETENTE. PROFUNDIDAD >math> 30 m.</math>	2.6
ESTIMAR EL RQD CON $\pm 5\%$ DE APROXIMACION.		TRES SISTEMAS PRINCIPALES Y UNO SECUNDARIO	12	G LLISTROSAS, PLANARES	0.5	G MATERIAL CON ALTO GRADO DE SOBRECONSOLIDACION, RELLENO CONTINUO (HASTA DE 5 mm. DE ESPESOR) DE MATERIAL ARCILLOSO COMPACTO	5	FLUJOS O PRESIONES EXCEPCIONALMENTE ALTAS, SIN QUE OCURRA UNA DISMINUCION CON EL TIEMPO	0.1 o 0.05	G DIACLASAS ABIERTAS Y SUELTAS. ROCA INTENSAMENTE FRACTURADA.	5
CUANDO NO SE DISPONGA DE TESTIGOS: RQD = $115 - 3.3 J_v$ $J_v$ = NUMERO DE DIACLASAS POR m3		CUATRO SISTEMAS DE DISCONTINUIDADES O MAS (ROCA MUY FRACTURADA)	15	H ZONA CONTENIENDO ARCILLA EN CANTIDAD SUFICIENTE COMO PARA IMPEDIR EL CONTACTO ENTRE LAS SUPERFICIES QUE LIMITAN LA DISCONTINUIDAD	1.0	H, I RELLENO CONTINUO (HASTA DE 5 mm. DE ESPESOR) DE MATERIAL ARCILLOSO COMPACTO CON BAJO GRADO DE SOBRECONSOLIDACION	8	NOTAS:		H TENSIONES BAJAS. Poca PROFUNDIDAD.	2.5
SI RQD MENOR DE 10, EMPLEAR UN VALOR NOMINAL DE 10		ROCA TRITURADA (TERROSA)	20	J ZONA DE MATERIAL ARENOSO EN CANTIDAD SUFICIENTE COMO PARA IMPEDIR EL CONTACTO ENTRE LAS SUPERFICIES QUE LIMITAN LA DISCONTINUIDAD	1.0	J RELLENO CONTINUO DE ARCILLAS EXPANSIVAS (MONTUORILLINITA). EL VALOR DE $J_a$ DEPENDERA DEL % DE EXPANSION, EL TAMARO DE LAS PARTICULAS ARCILLOSAS, LA ACCESIBILIDAD DEL AGUA, ETC.	8-12	GRUPOS A o E: CONTACTO ENTRE LAS SUPERFICIES		J TENSIONES MODERADAS.	1
		NOTAS:		NOTAS:		K, L, M ZONAS O BANDAS DE ROCA DESINTEGRADA O TRITURADA Y ARCILLA (VER G, H y J PARA LA DESCRIPCION DE LOS TIPOS DE ARCILLA)	5, 8 o 8-12	GRUPOS F o J: CONTACTO ENTRE LAS SUPERFICIES PARA DESPLAZAMIENTOS DE CIZALLA $\approx 10$ cm.		K TENSIONES ALTAS. ESTRUCTURA AJUSTADA. PODRIA PRESENTAR PROBLEMAS DE ESTABILIDAD.	0.5 o 2
		PARA INTERSECCIONES EMPLEAR (3.0 x $J_n$ ) PARA PORTALES EMPLEAR (2.0 x $J_n$ )		- EN LOS GRUPOS A HASTA Q, EL CONTACTO ENTRE LAS SUPERFICIES DE LA DISCONTINUIDAD SE LOGRA CON DESPLAZAMIENTOS DE CIZALLA INFERIORES A LOS 10 cm. - EN LOS GRUPOS H y J, NO SE PRODUCE CONTACTO ENTRE LAS SUPERFICIES AL OCURRIR DESPLAZAMIENTOS DE CIZALLA. - AGREGAR 1.0 CUANDO EL ESPACIAMIENTO MEDIO DE LAS DIACLASAS FUERA SUPERIOR A 3cm.		N ZONAS DE ARCILLA LIMOSA O ARENOSA	5	GRUPOS K o R: NO SE PRODUCE CONTACTO ENTRE LAS SUPERFICIES AL OCURRIR DESPLAZAMIENTOS DE CIZALLA.		L ESTALLIDOS DE ROCA MODERADOS EN ROCA MASNA.	5 o 10
						O, P, Q ZONAS POTENTES Y CONTINUAS DE ARCILLA (VER G, H y J PARA LA DESCRIPCION DE LOS TIPOS DE ARCILLA)	10-13 o 13-20			M ESTALLIDOS DE ROCA SEVEROS EN ROCA MASNA.	10 o 20
										N PRESION MODERADA DE ROCA CON TENDENCIA EXTRUSIVA.	5 o 10
										O PRESION ALTA DE ROCA CON TENDENCIA EXTRUSIVA.	10 o 20
										P PRESION MODERADA DE ROCA CON TENDENCIA EXPANSIVA.	5 o 10
										Q PRESION ALTA DE ROCA CON TENDENCIA EXPANSIVA.	10 o 15
										NOTAS:	
										LAS ZONAS DE DEBILIDAD DE LOS GRUPOS A o G SE REFIEREN A AQUELLAS QUE INTERSECTAN A LA EXCAVACION Y QUE PODRIAN CAUSAR UN AFLAJAMIENTO DE LA ROCA CIRCUNDANTE.	
										GRUPOS H o M: ROCA COMPETENTE EN LA QUE SE PRESENTA PROBLEMAS DE TENSIONES.	
										GRUPOS N o O: ROCAS CON TENDENCIA EXTRUSIVA, FLUJO PLASTICO O INCOMPETENCIA CAUSADA POR PRESIONES ALTAS.	
										GRUPOS P o R: ROCAS EXPANSIVAS EN LAS QUE LA PRESENCIA DE AGUA REPRESENTA UN FACTOR IMPORTANTE.	

## CLASIFICACIONES GEOTECNICAS DE MACIZOS ROCOSOS

### GRADO DE ALTERACIÓN (ISRM, 1978)

PARAMETRO	CALIFICATIVO	DESCRIPCIÓN
<b>a1</b>	Roca fresca	No hay señales visibles de material de roca lixiviada, tal vez una ligera decoloración en la superficie de la discontinuidad.
<b>a2</b>	Roca ligeramente alterada	Se observa la decoloración mas profunda en el material y en la superficie de discontinuidad.
<b>a3</b>	Roca moderadamente alterada	Menos del 35% del material rocoso esta descompuesto y/o desintegrado, la roca fresca o decolorida se presenta como una estructura continua y como testigo de roca.
<b>a4</b>	Roca altamente alterada	Mas del 35% del material rocoso esta descompuesto o disgregado, la roca fresca esta presente como una estructura discontinua o como testigo de roca.
<b>a5</b>	Roca extremadamente alterada	Todo el material rocoso esta descompuesto y/o desintegrado, la roca se disgrega con la mano y se conserva únicamente los rasgos de la estructura original
<b>a6</b>	Suelo residual	Cuando todo el material rocoso se ha convertido en suelo, no se observa ni estructura ni fabrica, y no hay transporte de material.

### GRADO DE FRATURAMIENTO

PARAMETRO	CALIFICATIVO	DESCRIPCIÓN
<b>b1</b>	Roca ligeramente fracturada	El macizo presenta menos de 2 fracturas por metro lineal.
<b>B2</b>	Roca fracturada	Presenta 2 a 5 fracturas por metro lineal.
<b>b3</b>	Roca muy fracturada	Presenta 6 a 10 fracturas por metro lineal.
<b>b4</b>	Roca extremadamente fracturada	Presenta 11 a 20 fracturas por metro lineal.
<b>b5</b>	Roca triturada	Presenta mas de 20 fracturas por metro lineal.

### GRADO DE DUREZA (Deere y Miller, 1966)

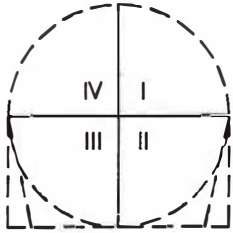
PARAMETRO	CALIFICATIVO	DESCRIPCIÓN
<b>c1</b>	Roca muy resistente	Requiere de varios golpes del martillo para romperla. Resistencia estimada mayor de 200 Mpa.
<b>c2</b>	Roca resistente	Se rompe en uno o dos golpes de picota. Resistencia estimada de 100 a 200 Mpa.
<b>c3</b>	Roca moderadamente resistente	Se indenta la picota. Resistencia estimada de 50 a 100 Mpa.
<b>c4</b>	Roca suave	Se disgrega con golpes de picota. Resistencia estimada de 25 a 50 Mpa.
<b>c5</b>	Roca muy débil	Se rompe fácilmente con la mano. Resistencia estimada menor de 20 Mpa.

### GRADO DE ESTRATIFICACION

PARAMETRO	CALIFICATIVO	DESCRIPCIÓN
<b>d1</b>	Muy gruesa	Estratos con potencia mayor a 2 metros.
<b>d2</b>	Gruesa	Estratos con potencia de 1 a 2 metros.
<b>d3</b>	Moderado	Estratos con potencia de 0.5 a 1 metros.
<b>d4</b>	Delgado	Estratos con potencia 0.01 a 0.5 metros.
<b>d5</b>	Laminar	Estratos con potencia menor de 0.01 metros.



Progresiva:



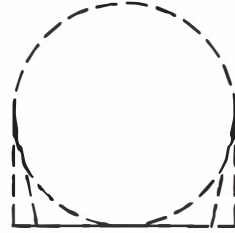
\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

Progresiva:



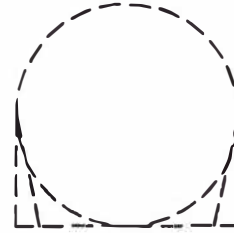
\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

Progresiva:



\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

SIMBOLOGIA

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

OCURRENCIAS DE EXCAVACION, SOPORTE O REVESTIMIENTO

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

MUESTRAS DE ROCA O RELLENO. ENSAYO DE LABORATORIO

Progresiva \_\_\_\_\_

Tipo de Ensayo \_\_\_\_\_

Resultado \_\_\_\_\_

Progresiva \_\_\_\_\_

Tipo de Ensayo \_\_\_\_\_

Resultado \_\_\_\_\_

ENSAYOS IN SITU

Progresiva \_\_\_\_\_

Tipo de Ensayo \_\_\_\_\_

Resultado \_\_\_\_\_

Progresiva \_\_\_\_\_

Tipo de Ensayo \_\_\_\_\_

Resultado \_\_\_\_\_

MUESTRAS DE AGUA

Progresiva \_\_\_\_\_

Tipo de Ensayo \_\_\_\_\_

Resultado \_\_\_\_\_

Progresiva \_\_\_\_\_

Tipo de Ensayo \_\_\_\_\_

Resultado \_\_\_\_\_

CONTROL DEL SOPORTE O REVESTIMIENTO

Progresiva \_\_\_\_\_

Tipo de Ensayo \_\_\_\_\_

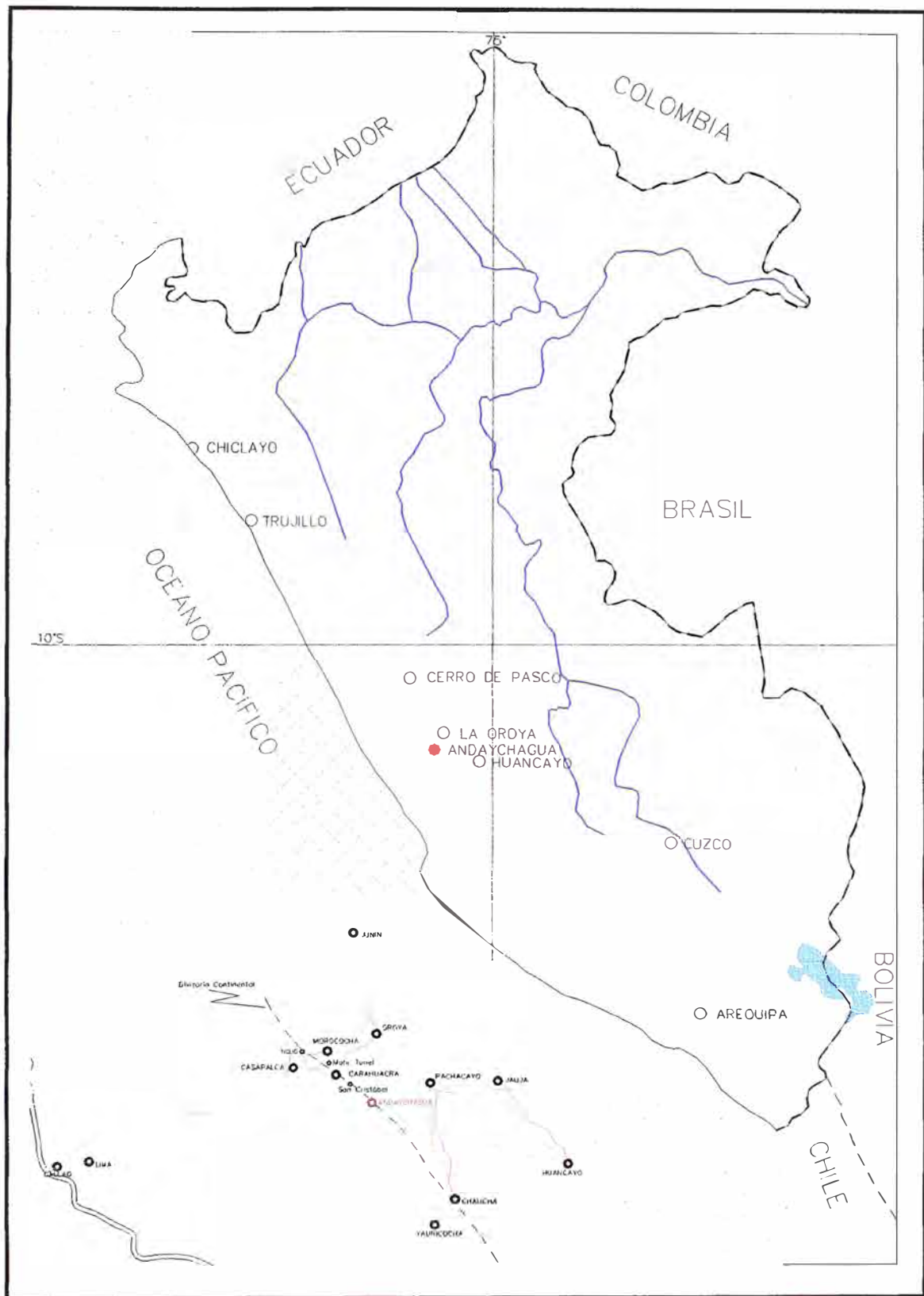
Resultado \_\_\_\_\_

Progresiva \_\_\_\_\_

Tipo de Ensayo \_\_\_\_\_

Resultado \_\_\_\_\_

## 9.2 PLANO DE UBICACIÓN



**PLANO DE UBICACIÓN – MINA ANDAYCHAGUA**

### 9.3 INFORMACIÓN FOTOGRÁFICA





FOTO N° 1 : VISTA PANORÁMICA DEL ÁREA DEL PROYECTO. (AL SE)

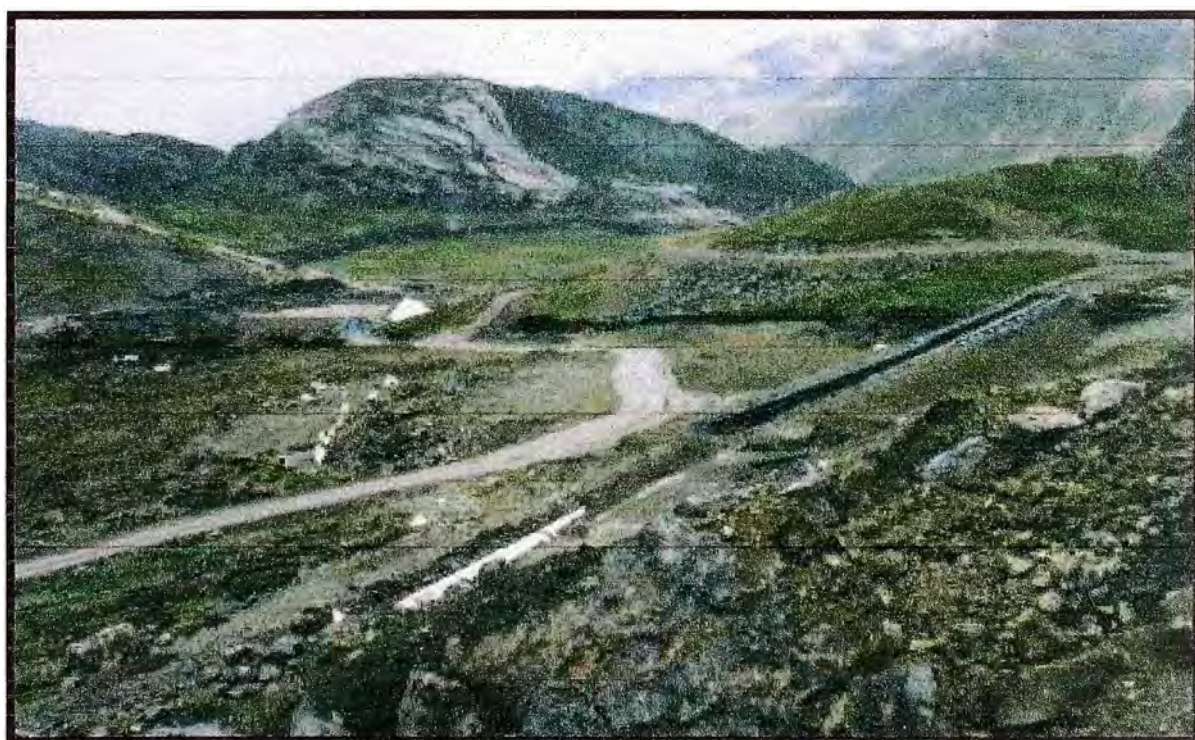


FOTO N° 2 : ZONA DE COLAPSO NUEVA PRESA DE RELAVES  
ANDAYCHAGUA. OBSÉRVESE EL CANAL DE DERIVACIÓN  
TEMPORAL COLAPSADO. (AL NE)





FOTO N° 3 : ZONA DE COLAPSO NUEVA PRESA DE RELAVES  
ANDAYCHAGUA. (AL NE)



FOTO N° 4 : ZONA DE COLAPSO NUEVA PRESA DE RELAVES  
ANDAYCHAGUA DURANTE EL PROCESO DE LIMPIEZA.





FOTO N° 5 : PRESA DE RELAVES ANDAYCHAGUA ZONA DE PIE DE PRESA.  
(AL NW)



FOTO N° 6 : PRESA DE RELAVES ANDAYCHAGUA. NÓTESE EL NIVEL DEL  
RELAVE Y EL AGUA, CERCANO A LA CRESTA DE LA PRESA.  
(AL W)





FOTO N° 7 : VISTA PANORÁMICA DE LA PRESA DE RELAVES, NÓTESE EN LA PARTE INFERIOR IZQUIERDA EL CANAL DE DERIVACIÓN EXISTENTE.



FOTO N° 8 : MICROGRAFÍA MUESTRA DE MÁRMOL. ZONA PORTAL DE ENTRADA TÚNEL DEFINITIVO.



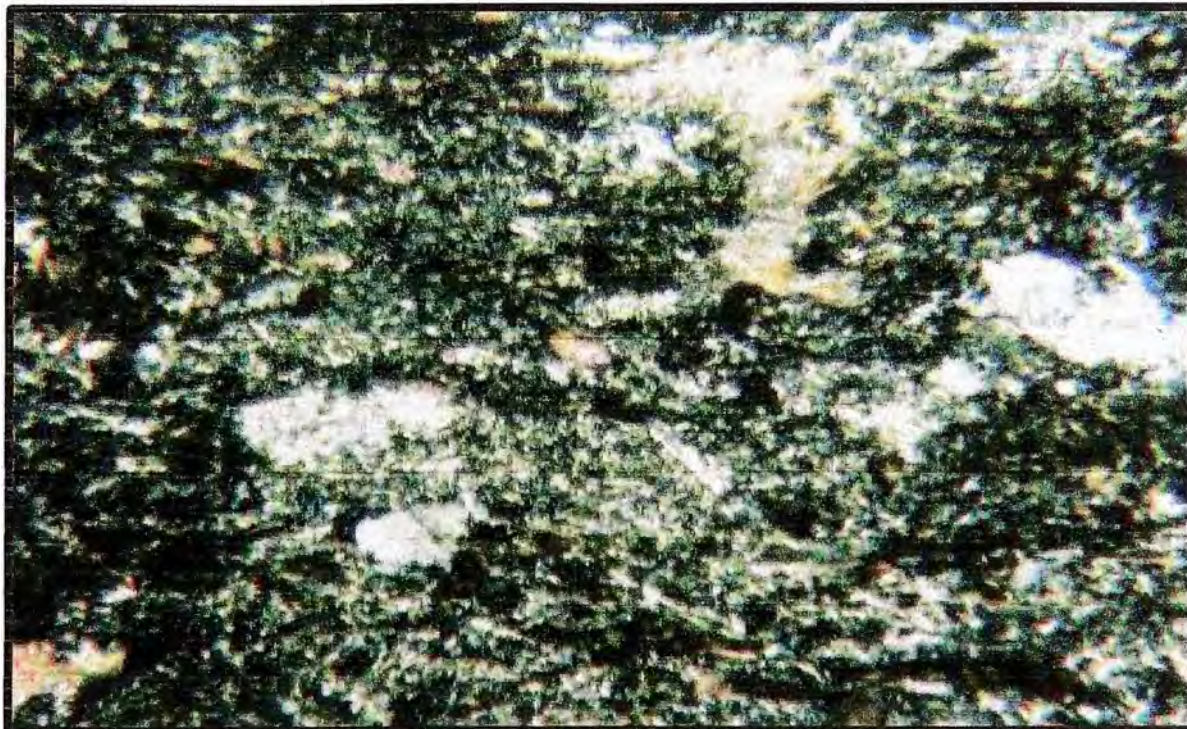


FOTO N° 9 : MICROGRAFÍA MUESTRA DE METAVOLCANICO. ZONA PORTAL DE ENTRADA TÚNEL DEFINITIVO.



FOTO N° 10 : EQUIPO DE CARGA PUNTUAL.





FOTO N° 11 EQUIPO DE CARGA PUNTUAL.



FOTO N° 12 CALICATA EXCAVADA EN LA ZONA DE CORONA DE LA PRESA DE RELAVES ANDAYCHAGUA.





FOTO N° 13 PANORÁMICA OBRAS DE RECRECIMIENTO Y REFORZAMIENTO PRESA DE RELAVES DE ANDAYCHAGUA.



FOTO N° 14 DETALLE OBRAS DE RECRECIMIENTO Y REFORZAMIENTO PRESA DE RELAVES DE ANDAYCHAGUA.





FOTO N° 15 : DETALLE OBRAS DE RECRECIMIENTO Y REFORZAMIENTO PRESA DE RELAVES DE ANDAYCHAGUA. COLOCACIÓN DE RELLENO CON GEOTEXTIL.



FOTO N° 16 : DETALLE OBRAS DE RECRECIMIENTO Y REFORZAMIENTO PRESA DE RELAVES DE ANDAYCHAGUA – CORTE PARA NUEVO ALVIADERO.





FOTO N° 17 DETALLE OBRAS DE RECRECIMIENTO Y REFORZAMIENTO PRESA DE RELAVES DE ANDAYCHAGUA – ACOMODO DE GRAVA.



FOTO N° 18 PANORÁMICA RECRECIMIENTO Y REFORZAMIENTO PRESA DE RELAVES DE ANDAYCHAGUA.





FOTO N° 19 PANORÁMICA ZONA DE OBRAS DEL TÚNEL DEFINITIVO.  
(AL NE)



FOTO N° 20 INICIO DE EXCAVACIÓN DEL TÚNEL DEFINITIVO.





FOTO N° 21 PORTAL DE ENTRADA TÚNEL DEFINITIVO.



FOTO N° 22 MARCADO DEL SOSTENIMIENTO TÚNEL DEFINITIVO.





FOTO N° 23 VISTA INTERIOR DURANTE LA EJECUCIÓN DEL TÚNEL DEFINITIVO.



FOTO N° 24 VISTA PANORÁMICA ZONA CANAL DE DERIVACIÓN. (AL NE)





FOTO N° 25 : VISTA PANORÁMICA ZONA CANAL DE DERIVACIÓN. (AL NW)



FOTO N° 26 : TRABAJOS DE EXCAVACIÓN CANAL DE DERIVACIÓN.  
NÓTESE EL CANAL DE DERIVACIÓN ANTIGUO EN LA PARTE  
INFERIOR CENTRAL DE LA FOTO.





FOTO N° 27 TRABAJOS DE PREPARACIÓN DE PLATAFORMA PARA LA EXCAVACIÓN DEL CANAL DE DERIVACIÓN.



FOTO N° 28 TRABAJOS DE EXCAVACIÓN DEL CANAL DE DERIVACIÓN.





FOTO N° 29 TRABAJOS DE EXCAVACIÓN DEL CANAL DE DERIVACIÓN.



FOTO N° 30 TRABAJOS DE PERFORACIÓN EN ROCA, DEL CANAL DE DERIVACIÓN.





FOTO N° 31 TRABAJOS DE PERFORACIÓN EN ROCA, DEL CANAL DE DERIVACIÓN.



FOTO N° 32 CARGUIO DE TALADROS DEL CANAL DE DERIVACIÓN.





FOTO N° 33 TRABAJOS DE EXCAVACIÓN DEL CANAL DE DERIVACIÓN.



FOTO N° 34: VISTA PANORÁMICA DEL CANAL DE DERIVACIÓN.





FOTO N° 35 PANORÁMICA ZONA DE PRESA DEL RESERVORIO Y OBRAS DE TOMA CANAL DE DERIVACIÓN. (AL N)



FOTO N° 36 PANORÁMICA ZONA DE PRESA DEL RESERVORIO Y OBRAS DE TOMA CANAL DE DERIVACIÓN. (AL S)





FOTO N° 37 INSTALACIÓN DE DREN EN LA PRESA DEL RESERVORIO.



FOTO N° 38 OBRAS DE PRESA DEL RESERVORIO.





FOTO N° 39 : OBRAS DE DERIVACIÓN TEMPORAL, ZONA DE PRESA DE RESERVORIO.



FOTO N° 40 : SELLADO DE FRACTURAS EN LA ZONA DE LA PRESA DEL RESERVORIO.





FOTO N° 41 OBRAS DE LA PRESA DEL RESERVORIO.



FOTO N° 42 VISTA PANORÁMICA DE LA PRESA DEL RESERVORIO.

## **9.4 PLANOS**

### **9.4.1 GEOLOGÍA REGIONAL**

### **9.4.2 DISPOSICION GENERAL (PLANTA)**

### **9.4.3 GEOLOGÍA Y GEOTECNIA DEL PROYECTO**

### **9.4.4 GEOLOGÍA Y GEOTECNIA DE LAS OBRAS DE CAPTACIÓN**

### **9.4.5 GEOLOGÍA Y GEOTECNIA DEL CANAL**

### **9.4.6 SECCIONES Y PERFIL LONGITUDINAL DEL CANAL**

#### **9.4.6.1 PERFIL LONGITUDINAL DEL CANAL**

#### **9.4.6.2 SECCIONES TRANSVERSALES**

### **9.4.7 GEOLOGÍA Y GEOTECNIA DEL TÚNEL**

### **9.4.8 PERFIL LONGITUDINAL DEL LAS ALTERNATIVAS DE TUNEL**

#### **9.4.8.1 PERFIL LONGITUDINAL TÚNEL PROGRESIVA 273.00**

#### **9.4.8.2 PERFIL LONGITUDINAL TÚNEL PROGRESIVA 404.00**

## 9.5 INFORMACIÓN BIBLIOGRÁFICA

- BOLETÍN N° 36 INGEMMET SERIE A CARTA GEOLÓGICA NACIONAL - GEOLOGÍA DE LOS CUADRÁNGULOS DE MATUCANA Y HUAROCHIRI – Humberto Salazar Díaz – Lima, Perú 1983
- BOLETÍN N° 69 INGEMMET SERIE A CARTA GEOLÓGICA NACIONAL - GEOLOGÍA DE LOS CUADRÁNGULOS DE TARMA, LA OROYA Y YAUYOS – Francois Megard et al – Lima, Perú 1996
- DICCIONARIO GEOLÓGICO – Jorge Dávila Burga – Lima, Perú 1992
- INGENIERÍA GEOLÓGICA – Luis Gonzáles de Vallejo et al – Madrid, España 2002
- INTRODUCCIÓN A LA INGENIERÍA DE TÚNELES – Hernán Gavilanes J. & Byron Andrade Haro – Quito, Ecuador 2004
- MANUAL DE CAMPO PARA LA DESCRIPCIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE MACIZOS ROCOSOS EN AFLORAMIENTOS – Mercedes Ferrer, Luis Gonzáles de Vallejo et al – Madrid, España 1999
- MANUAL DE CAPACITACION G.S.I. , CERRO DE PASCO – Carlos Vallejo Cortes – Cerro de Pasco, Perú 2001
- THE MAPPING OF GEOLOGICAL STRUCTURES – Ken McClay – Londres, Inglaterra 1997



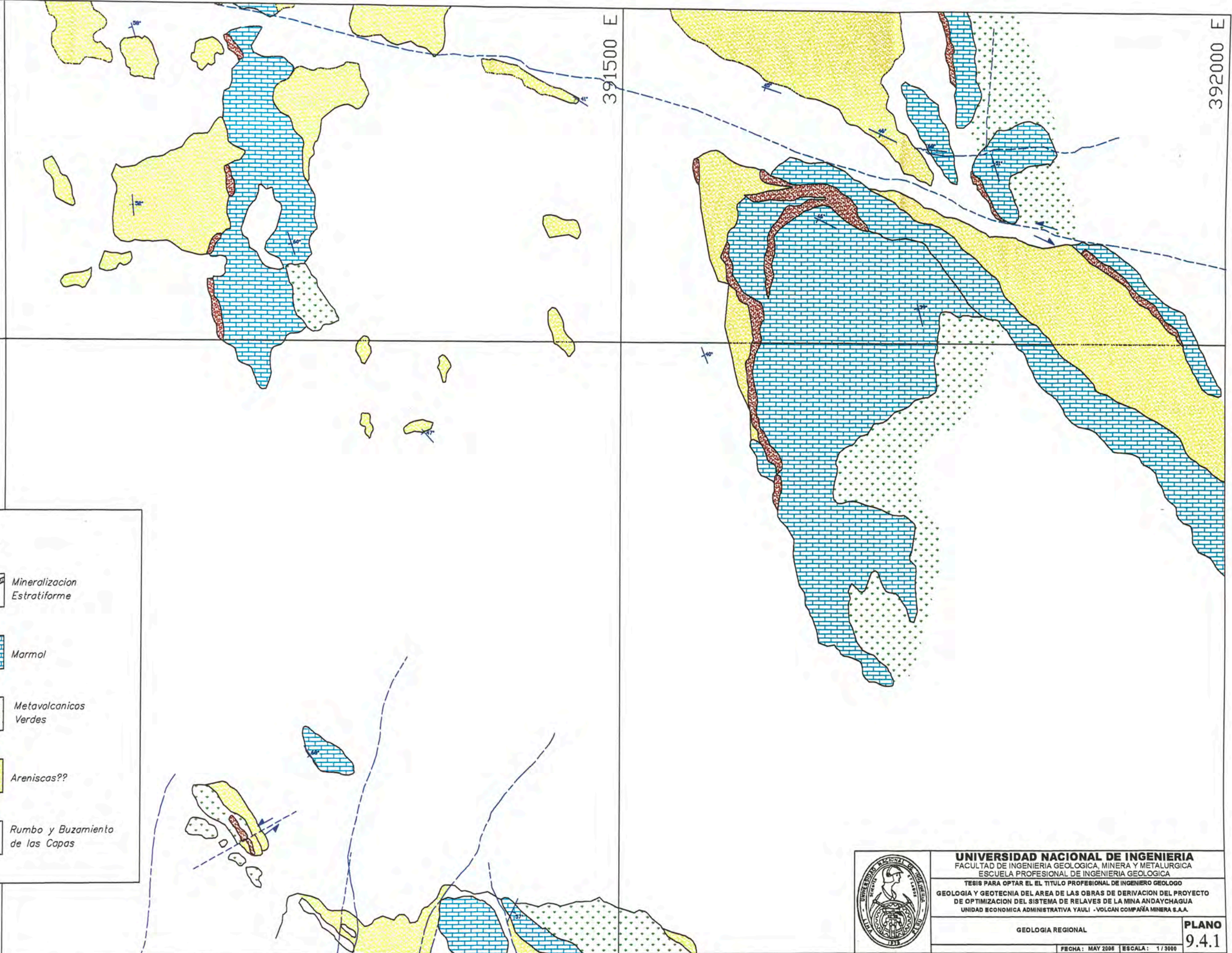
391000 E

391500 E


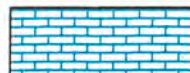

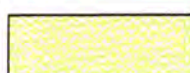

392000 E

8701000 N

8700500 N



LEYENDA

-  Mineralizacion Estratiforme
-  Marmol
-  Metavolcanicos Verdes
-  Areniscas??
-  Rumbo y Buzamiento de las Capas

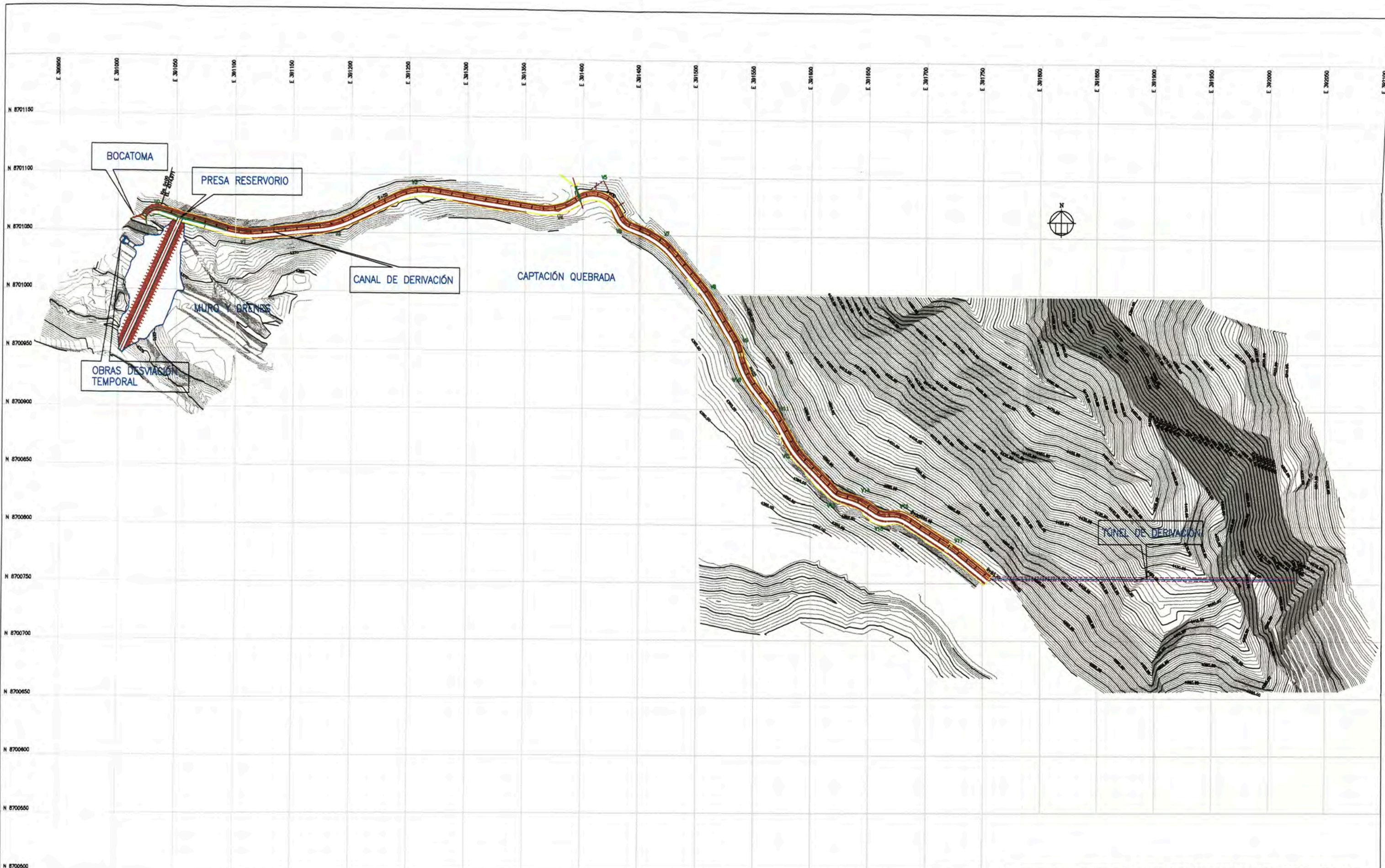



**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA**  
 FACULTAD DE INGENIERIA GEOLOGICA, MINERA Y METALURGICA  
 ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA GEOLOGICA  
 TESIS PARA OPTAR EL EL TITULO PROFESIONAL DE INGENIERO GEOLOGO  
 GEOLOGIA Y GEOTECNIA DEL AREA DE LAS OBRAS DE DERIVACION DEL PROYECTO  
 DE OPTIMIZACION DEL SISTEMA DE RELAVES DE LA MINA ANDAYCHAGUA  
 UNIDAD ECONOMICA ADMINISTRATIVA YAULI - VOLCAN COMPANIA MINERA S.A.A.

GEOLOGIA REGIONAL **PLANO 9.4.1**

FECHA: MAY 2008 | ESCALA: 1 / 3000





	<b>UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA</b> FACULTAD DE INGENIERIA GEOLOGICA, MINERA Y METALURGICA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA GEOLOGICA	
	TESIS PARA OPTAR EL EL TITULO PROFESIONAL DE INGENIERO GEOLOGO GEOLOGIA Y GEOTECNIA DEL AREA DE LAS OBRAS DE DERIVACION DEL PROYECTO DE OPTIMIZACION DEL SISTEMA DE RELAVES DE LA MINA ANDAYCHAGUA UNIDAD ECONOMICA ADMINISTRATIVA YAULI - VOLCAN COMPAÑIA MINERA S.A.A.	
	DISPOSICION GENERAL (PLANTA)	<b>PLANO</b> <b>9.4.2</b>
FECHA : MAY 2006   ESCALA : 1 / 3000		



8701250

390750

3911000

391250

391500

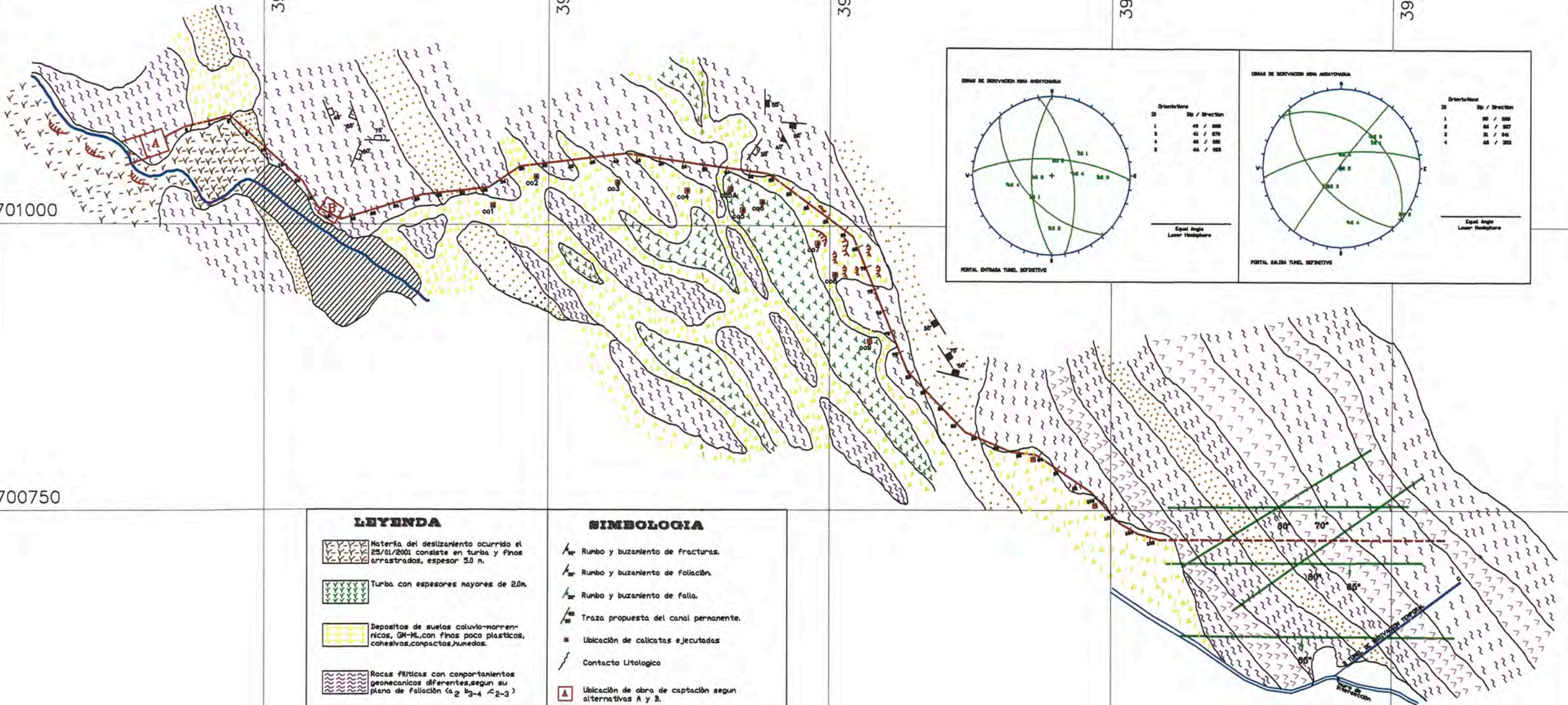
391750

392000

8701000

8700750

8700500

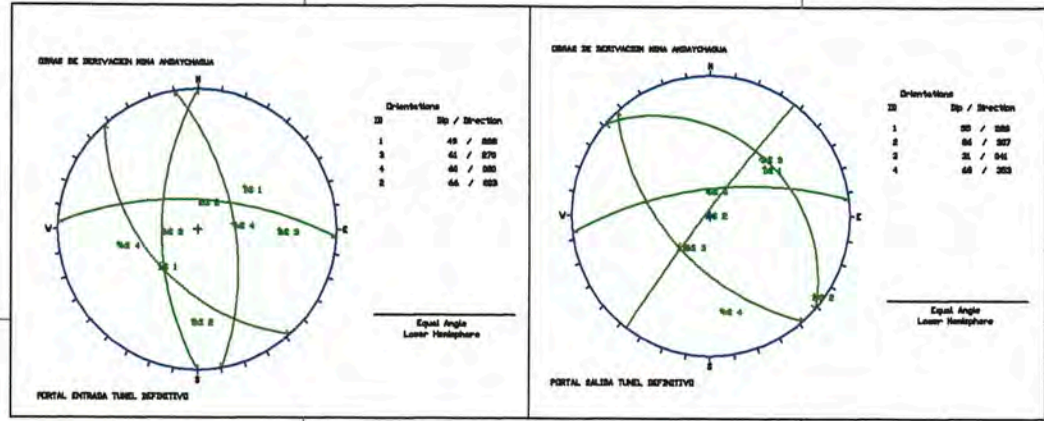



**LEYENDA**

- Materia del deslizamiento ocurrido el 25/01/2001 consiste en turba y finos arrastrados, espesor 5.0 m.
- Turba con espesores mayores de 20m.
- Depositos de suelos coluvio-norrenricos, GM-ML, con finos poco plasticos, cohesivos, compactos, humedos.
- Rocas filiticas con comportamientos geomecanicos diferentes, segun su plano de fallacion (a<sub>2</sub>, b<sub>3-4</sub>, c<sub>2-3</sub>)
- Rocas cuarciticas, muy duras frescas moderadamente fracturadas (a<sub>1</sub>, b<sub>2</sub>, c<sub>2</sub>)
- Rocas volcanicas metamorfizadas muy duras, frescas moderadamente fracturadas, (a<sub>1</sub>, b<sub>2</sub>, c<sub>2</sub>)
- Area rellenada perteneciente a la presa nueva de relaves de Andaychagua

**SIMBOLOGIA**

- Rumbo y buzamiento de fracturas.
- Rumbo y buzamiento de foliacion.
- Rumbo y buzamiento de falla.
- Traza propuesta del canal permanente.
- Ubicacion de calicatas ejecutadas
- Contacto Litologico
- Ubicacion de obra de captacion segun alternativas A y B.
- Traza propuesta del tunel permanente.
- Cauce del rio Andaychagua
- Proyecciones esferas graficas de los portales del tunel.

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA**  
 FACULTAD DE INGENIERIA GEOLOGICA, MINERA Y METALURGICA  
 ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA GEOLOGICA  
 TESIS PARA OPTAR EL EL TITULO PROFESIONAL DE INGENIERO GEOLOGO  
 GEOLOGIA Y GEOTECNIA DEL AREA DE LAS OBRAS DE DERIVACION DEL PROYECTO  
 DE OPTIMIZACION DEL SISTEMA DE RELAVES DE LA MINA ANDAYCHAGUA  
 UNIDAD ECONOMICA ADMINISTRATIVA YAULI - VOLCAN COMPAÑIA MINERA S.A.A.

GEOLOGIA Y GEOTECNIA DEL PROYECTO **PLANO 9.4.3**

FECHA : MAY 2006 ESCALA : 1/3750



8701100 N

### SECCION A-A' (Perfil en el Eje de la Presa)



8701050 N

8701000 N

8700950 N

8700900 N

### SIMBOLOGIA

- 40° Rumbo y buzamiento de capas.
- 40° Rumbo y buzamiento de foliación.
- 70° Rumbo y buzamiento de fracturas.
- Contacto Litológico
- Trazo de Canal

### LEYENDA

- Suelo coluvio morrenico
- Material compactado de la presa en ejecución
- Material de deslizamiento consistente en turba, relleno y morrenico
- Marmol recristalizado en depositos lenticulares  $(a_2, b_2, c_2) = (F/B)$
- Fillitas bituminosas muy foleadas  $(a_2, b_4, c_{3-4}) = (IF/R)$
- Volcanico metamorizado laminares en textura fluidal-cataclastica  $(a_2, b_3, c_2) = (MF/B)$

390850 E

390900 E

390950 E

391000 E

391050 E

391100 E

391150 E

EJE PRESA ALTURA 10.0m.

EJE PRESA ALTURA 30.0m.

UBICACION BOCATOMA

Trazo canal de Derivación



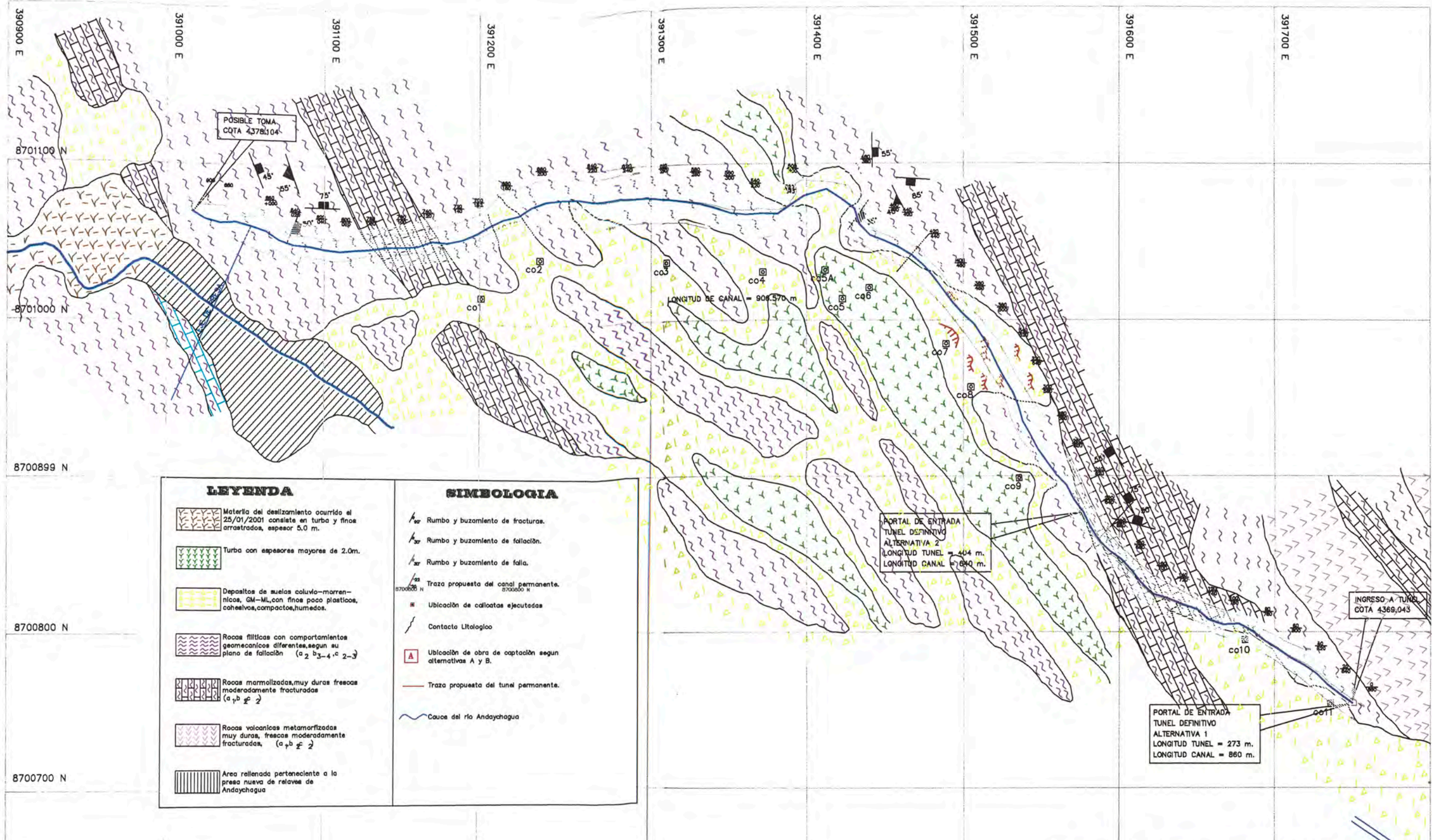
**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA**  
 FACULTAD DE INGENIERIA GEOLOGICA, MINERA Y METALURGICA  
 ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA GEOLOGICA  
 TESIS PARA OPTAR EL EL TITULO PROFESIONAL DE INGENIERO GEOLOGO  
 GEOLOGIA Y GEOTECNIA DEL AREA DE LAS OBRAS DE DERIVACION DEL PROYECTO  
 DE OPTIMIZACION DEL SISTEMA DE RELAVES DE LA MINA ANDAYCHAGUA  
 UNIDAD ECONOMICA ADMINISTRATIVA YAULI - VOLCAN COMPAÑIA MINERA S.A.A.

GEOLOGIA Y GEOTECNIA DE LAS OBRAS DE CAPTACION

PLANO  
9.4.4

FECHA: MAY 2006 | ESCALA: 1/1000





**LEYENDA**

- Materia del deslizamiento ocurrido el 25/01/2001 consiste en turba y finos arrastrados, espesor 5.0 m.
- Turba con espesores mayores de 2.0m.
- Depósitos de suelos coluvio-morrenicos, GM-ML, con finos poco plasticos, cohesivos, compactos, humedos.
- Rocas filíticas con comportamientos geomecánicos diferentes, según su plano de fallación (a<sub>2</sub> b<sub>3</sub>-4, c<sub>2</sub>-3)
- Rocas marmolizadas, muy duras, frescas moderadamente fracturadas (a, b ≠ 2)
- Rocas volcánicas metamorizadas muy duras, frescas moderadamente fracturadas, (a, b ≠ 2)
- Area rellenada perteneciente a la presa nueva de relaves de Andaychagua

**SIMBOLOGIA**

- Rumbo y buzamiento de fracturas.
- Rumbo y buzamiento de foliación.
- Rumbo y buzamiento de falla.
- Trazo propuesta del canal permanente.
- Ubicación de cañotas ejecutadas
- Contacto Litológico
- Ubicación de obra de captación según alternativas A y B.
- Trazo propuesta del tunel permanente.
- Cauca del río Andaychagua



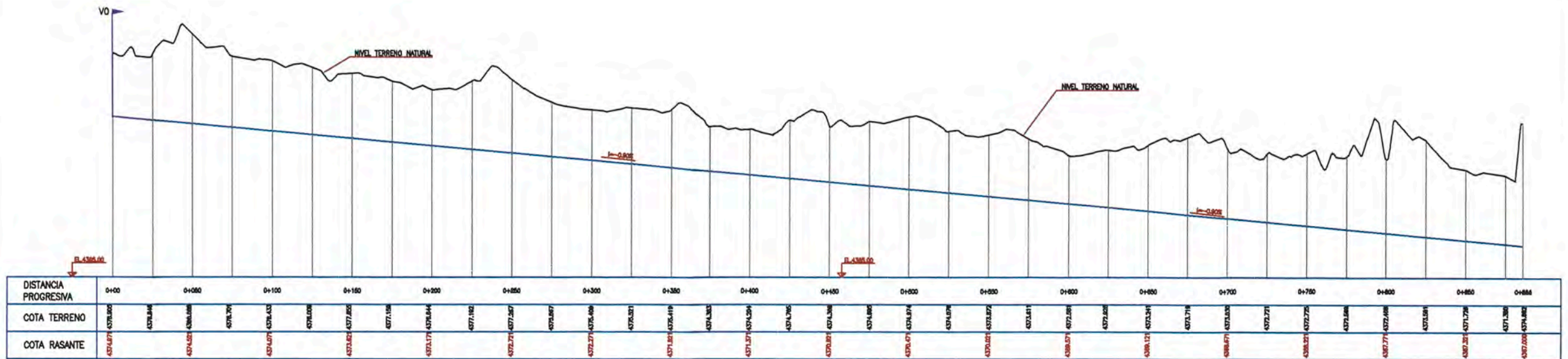
**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA**  
 FACULTAD DE INGENIERIA GEOLOGICA, MINERA Y METALURGICA  
 ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA GEOLOGICA  
 TESIS PARA OPTAR EL EL TITULO PROFESIONAL DE INGENIERO GEOLOGO  
 GEOLOGIA Y GEOTECNIA DEL AREA DE LAS OBRAS DE DERIVACION DEL PROYECTO  
 DE OPTIMIZACION DEL SISTEMA DE RELAVES DE LA MINA ANDAYCHAGUA  
 UNIDAD ECONOMICA ADMINISTRATIVA YAULI - VOLCAN COMPAÑIA MINERA S.A.A.

GEOLOGIA Y GEOTECNIA DEL CANAL

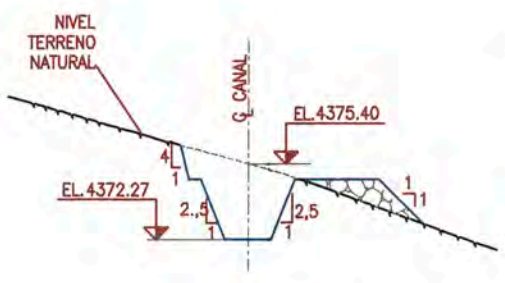
**PLANO 9.4.5**

FECHA: MAY 2006 ESCALA: 1/2500

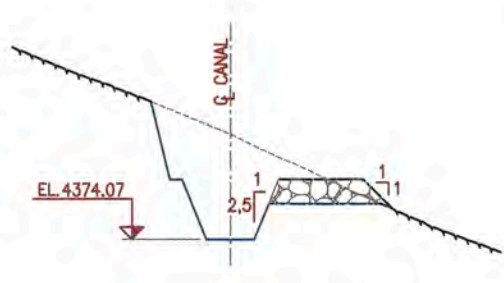




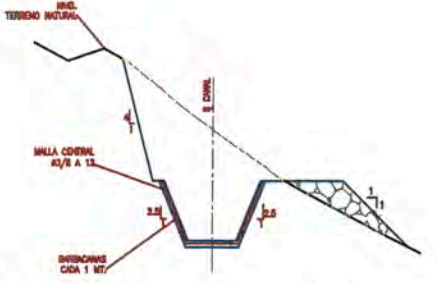
DETALLE TÍPICO CANAL CON CORTE Y RELLENO



DETALLE TÍPICO CANAL CON CORTE Y RELLENO



DETALLE TÍPICO CANAL CON CORTE Y RELLENO

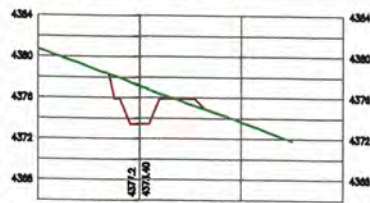


DETALLE TÍPICO CANAL REVESTIDO EN HORMIGÓN

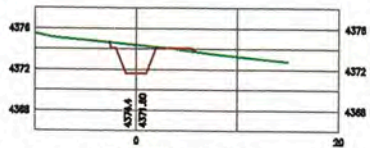
NOTA : DETALLES TÍPICOS CANAL SIN ESCALA

	<b>UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA</b> FACULTAD DE INGENIERIA GEOLOGICA, MINERA Y METALURGICA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA GEOLOGICA
	TESIS PARA OPTAR EL EL TITULO PROFESIONAL DE INGENIERO GEOLOGO <b>GEOLOGIA Y GEOTECNIA DEL AREA DE LAS OBRAS DE DERIVACION DEL PROYECTO DE OPTIMIZACION DEL SISTEMA DE RELAVES DE LA MNA ANDAYCHAGUA</b> UNIDAD ECONOMICA ADMINISTRATIVA YAULI - VOLCAN COMPAÑIA MINERA S.A.A.
PERFIL LONGITUDINAL DEL CANAL DEFINITIVO	<b>PLANO</b> 9.4.6.1
FECHA : MAY 2008   ESCALA : 1 / 3000	

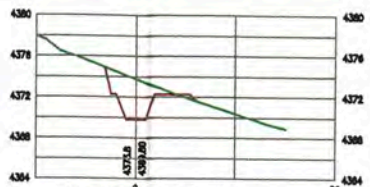




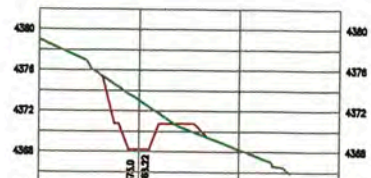
SECCIÓN Km 0+175



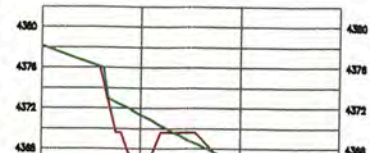
SECCIÓN Km 0+375



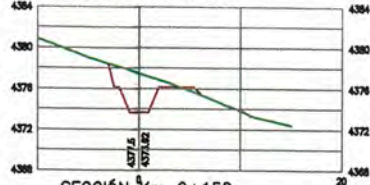
SECCIÓN Km 0+575



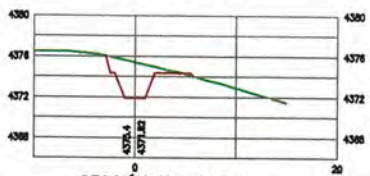
SECCIÓN Km 0+750



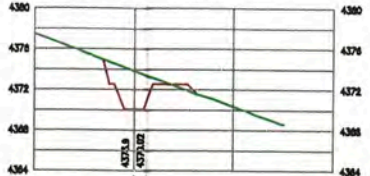
SECCIÓN Km 0+875



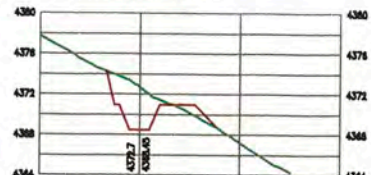
SECCIÓN Km 0+150



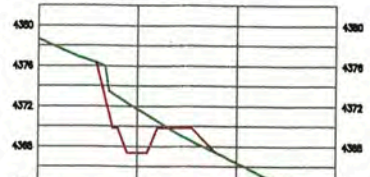
SECCIÓN Km 0+350



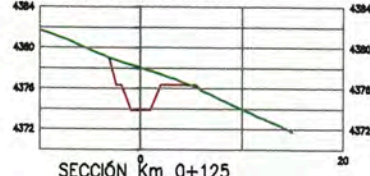
SECCIÓN Km 0+550



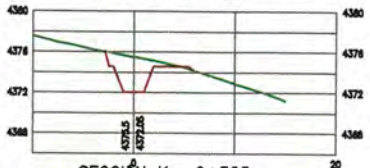
SECCIÓN Km 0+725



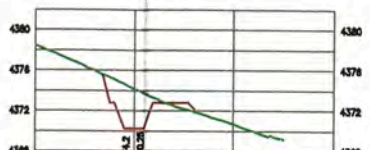
SECCIÓN Km 0+850



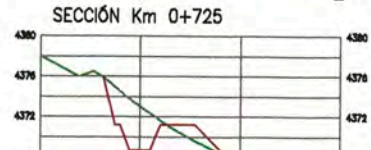
SECCIÓN Km 0+125



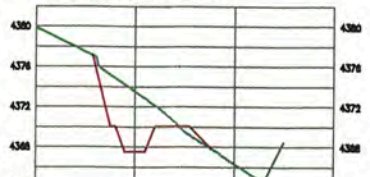
SECCIÓN Km 0+325



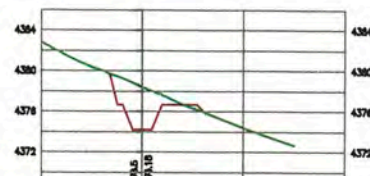
SECCIÓN Km 0+525



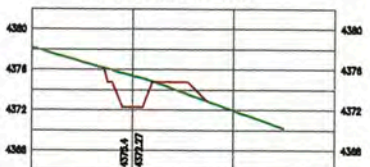
SECCIÓN Km 0+700



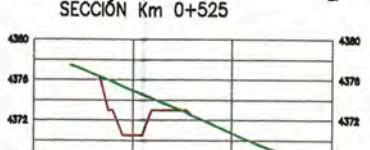
SECCIÓN Km 0+825



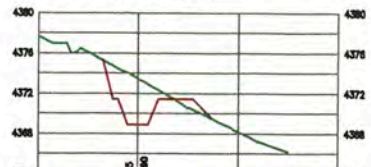
SECCIÓN Km 0+100



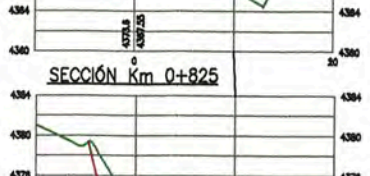
SECCIÓN Km 0+300



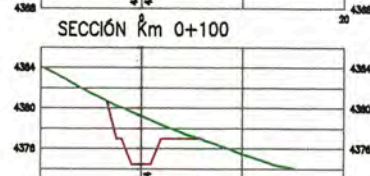
SECCIÓN Km 0+500



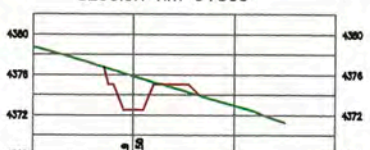
SECCIÓN Km 0+675



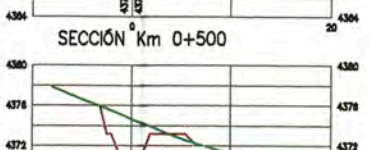
SECCIÓN Km 0+800



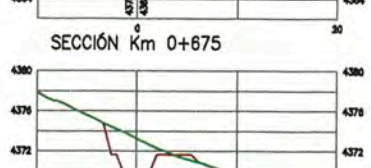
SECCIÓN Km 0+075



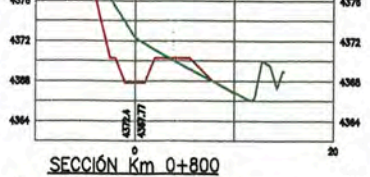
SECCIÓN Km 0+275



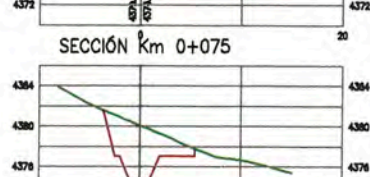
SECCIÓN Km 0+475



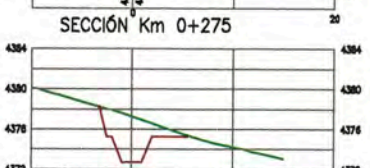
SECCIÓN Km 0+650



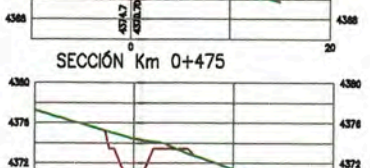
SECCIÓN Km 0+775



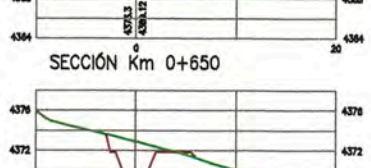
SECCIÓN Km 0+050



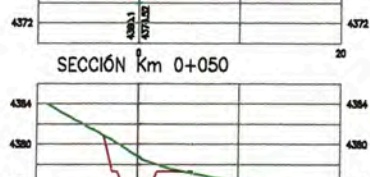
SECCIÓN Km 0+250



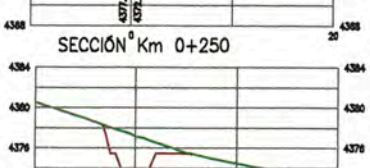
SECCIÓN Km 0+450



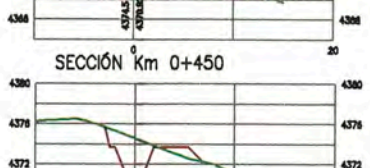
SECCIÓN Km 0+625



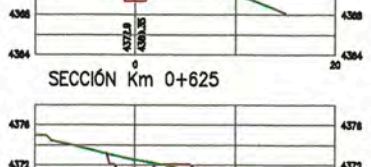
SECCIÓN Km 0+025



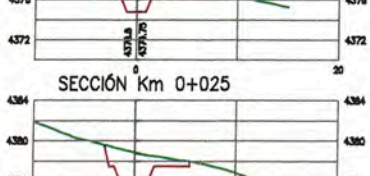
SECCIÓN Km 0+225



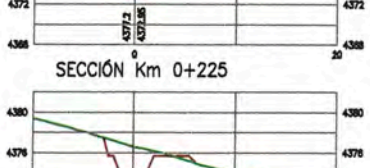
SECCIÓN Km 0+425



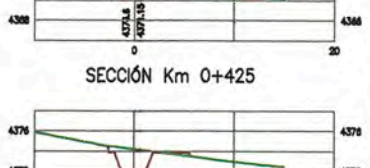
SECCIÓN Km 0+600



SECCIÓN Km 0+00



SECCIÓN Km 0+200



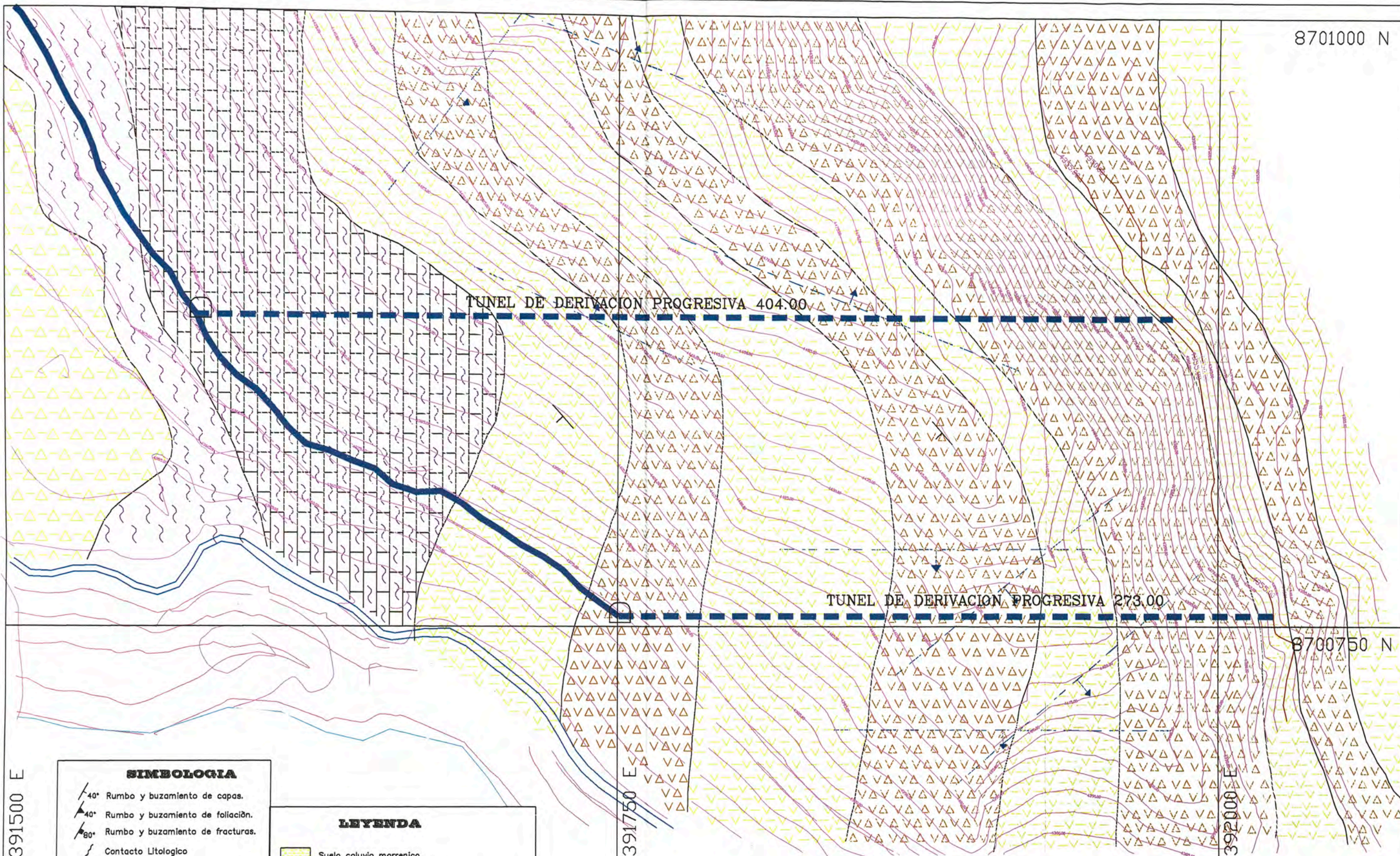
SECCIÓN Km 0+400



**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA**  
 FACULTAD DE INGENIERIA GEOLOGICA, MINERA Y METALURGICA  
 ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA GEOLOGICA  
 TESIS PARA OPTAR EL TITULO PROFESIONAL DE INGENIERO GEOLOGO  
**GEOLOGIA Y OPTIMIZACION DEL AREA DE LAS OBRAS DE DERIVACION DEL PROYECTO DE OPTIMIZACION DEL SISTEMA DE RELAVES DE LA MINA ANDAYCHAQUA**  
 UNIDAD ECONOMICA ADMINISTRATIVA YAULI - VOLCAN COMPAÑIA MINERA S.A.A.  
 SECCIONES TRANSVERSALES CANAL DEFINITIVO  
**PLANO 9.4.6.2**  
 FECHA: MAY 2008 | ESCALA: 1/750



8701000 N



**SIMBOLOGIA**

- 40° Rumbo y buzamiento de capas.
- 40° Rumbo y buzamiento de foliación.
- 80° Rumbo y buzamiento de fracturas.
- Contacto Litológico
- Trazo de Canal
- 70° Fallas.
- Eje del Tunnel.
- Portales

**LEYENDA**

- Suelo coluvio morrenico
- Marmol recrystalizado en depositos lenticulares  $(a_2, b_2, c_2) = (F/B)$
- Fililitas bituminosas muy foleadas  $(a_2, b_4, c_3-4) = (IF/R)$
- Volcanico metamorfozido laminares en textura fluidal-cataclastica  $(a_2, b_3, c_2) = (MF/B)$
- Brecha Volcanica  $(a_2, b_2, c_2) = (F/B)$



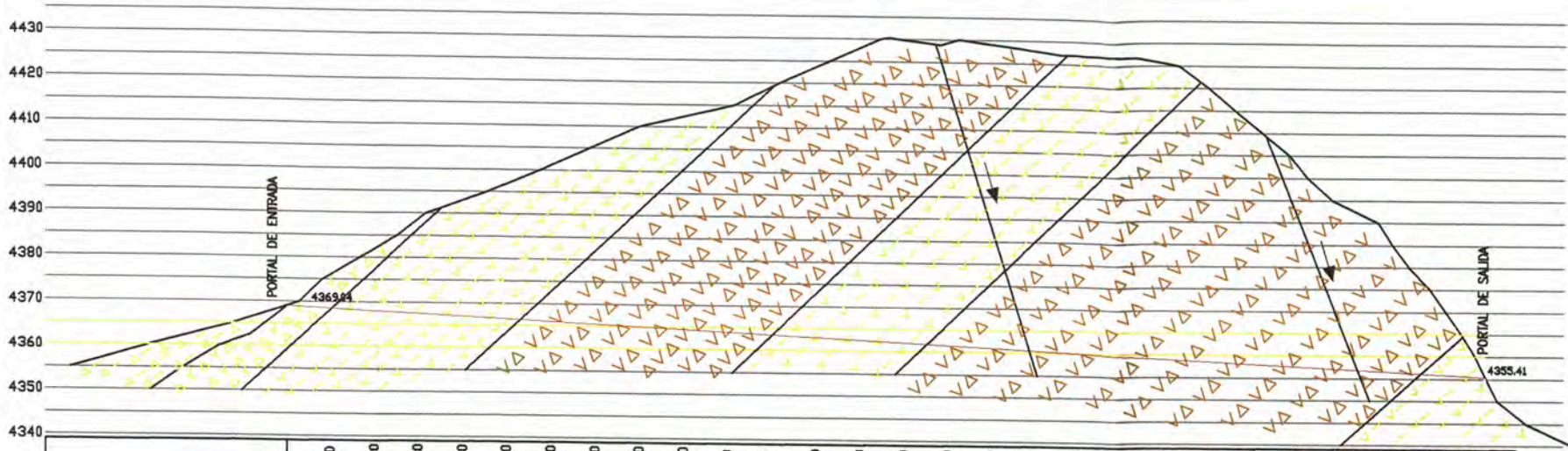
**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA**  
 FACULTAD DE INGENIERIA GEOLOGICA, MINERA Y METALURGICA  
 ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA GEOLOGICA  
 TESIS PARA OPTAR EL EL TITULO PROFESIONAL DE INGENIERO GEOLOGO  
 GEOLOGIA Y GEOTECNIA DEL AREA DE LAS OBRAS DE DERIVACION DEL PROYECTO  
 DE OPTIMIZACION DEL SISTEMA DE RELAVES DE LA MINA ANDAYCHAGUA  
 UNIDAD ECONOMICA ADMINISTRATIVA YAULI - VOLCAN COMPAÑIA MINERA S.A.A.

GEOLOGIA Y GEOTECNIA DEL TUNEL

**PLANO**  
9.4.7

FECHA: MAY 2006 | ESCALA: 1/1500





Progresiva	0+010	0+020	0+030	0+040	0+050	0+060	0+070	0+080	0+090	0+100	0+110	0+120	0+130	0+140	0+150	0+160	0+170	0+180	0+190	0+200	0+210	0+220	0+230	0+240	0+250	0+260	0+270	0+280	
Litología	Intercalación de capas volcánicas, consistente en brechas andesíticas, tufos y lavas con textura fluidal, laminares, muy fracturadas a moderadamente fracturadas, duras y leve a moderadamente alteradas, pertenecientes al grupo Excelclor																												
Estructura															F <sub>1</sub>											F <sub>2</sub>			
RQD	50	40 - 60			60 - 80			40 - 60	60-80	20				60 - 80	20	60	40									20	60	40	60
Jn	9	9			9			9	9	9				9	9	9	9									9	9	9	
Jr	2	1.5			2			1.5	2	1				2	1	2	1.5									1	2	1.5	
Ja	1-2	1-2			1-2			1-2	1-2	4				1-2	4	1-2	1-2									4	1-2	1-2	
Jw	1	1			1			1	1	1				1	1	1	1									1	1	1	
SRF	2.5	2.5			1			1	1	2.5				1	2.5	2.5	2.5									2.5	2.5	2.5	
Indice Q	6.9 7.9	1.3-4			6.7-17.8			3.3-10.0	6.7-17.8	0.2 -0.4				6.7-17.8	0.2	2.7	3.3									0.4	-7.1	-10.0	
Valuación Rc	12	12			12			12	12	4				12	4	12	12									4	12	12	
Valuación RQD y espaciam.	18-22	14 - 80			18 - 22			14 - 80	18-22	10				18 - 22	10	18	14									10	-22	-18	
Valuación Condición	15 20	15 - 20			20			15 - 20	20	10				20	10	20	15									10	20	15	
Valuación hidrogeológico	15	15 - 10			15			15	15	10				15	10	15	15									10	15	15	
Corrección orientación	-5	-5			-5			-5	-5	-5				-5	-5	-5	-5								-5	-5	-5		
Indice RMR	55 69	46 - 60			60 - 64			51 - 60	60-64	29				60 - 64	29	60	51									29	60	51	
Indice G.S.I.	F/B -MF/B	F/B - MF/B			F/B			F/B - MF/B	F/B	IF/R				F/B	IF/R	F/B	MF/B									IF/R	F/B	MF/B	
Profundidad	0-15 MTS	15 - 53 MTS																											
Tipo de sostenimiento	B	A			A			A	A	C				A	C	A	B									C	A	B	
Tipo de revestimiento	2	1			1			1	1	2				1	2	1	2									2	1	2	

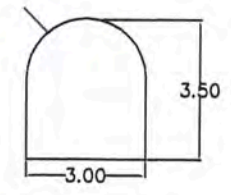
**Características del Tunel**

Longitud = 273.0 m  
 Sección = 10.0 m<sup>2</sup>  
 Tipo = Baul  
 Pendiente = -5%

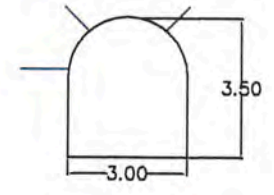
- LEYENDA**
- Falla
  - Trazo de Tunel
  - Volcánico Brechoso (a<sub>2</sub>, b<sub>2</sub>, c<sub>2</sub>) = (F/B)
  - Marmol recristalizado en depositos lenticulares (a<sub>2</sub>, b<sub>2</sub>, c<sub>2</sub>) = (F/B)
  - Volcánico metamorfozido laminares en textura fluidal-cataclástica (a<sub>2</sub>, b<sub>3</sub>, c<sub>2</sub>) = (MF/B)

## TIPOS DE SOSTENIMIENTO

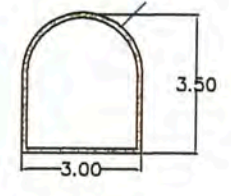
**TIPO A**  
 SIN SOPORTE O PERNO OCASIONAL  
 CEMENTADO DE 1.8 M  
 DE LONGITUD.



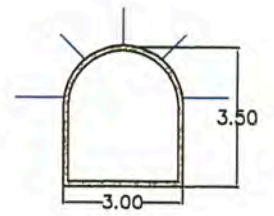
**TIPO B**  
 PERNOS DE FIERRO CEMENTADO  
 DE 1.8 M DE LONGITUD.  
 4 PERNOS / CADA 1.5 M  
 MALLA O SHOTCRETE  
 OCASIONAL.



**TIPO C**  
 CAPA DE SHOTCRETE CON FIBRA EN  
 PAREDES Y TECHO DE 5.0 CM  
 DE ESPESOR.  
 PERNO CEMENTADO OCASIONAL  
 DE 1.8 M DE LONGITUD.



**TIPO D**  
 CAPA DE SHOTCRETE CON FIBRA EN  
 PAREDES Y TECHO CON 10.0 CM  
 DE ESPESOR. 5 PERNOS CEMENTADOS  
 SISTEMATICOS, 1.8 M DE LONGITUD,  
 POR SECCIONES ESPACIADAS CADA  
 1.0 M.



## TIPO DE REVESTIMIENTO

**TIPO 1**  
 Consistente en 5 Cms de espesor  
 de shotcrete con fibra y solado de 15  
 Cms de espesor de concreto.  
 F'c 140 Kg/Cm<sup>2</sup>

**TIPO 2**  
 Consistente en 10 Cms de espesor  
 de shotcrete con fibra y solado de 15  
 Cms de espesor de concreto.  
 F'c 140 Kg/Cm<sup>2</sup>



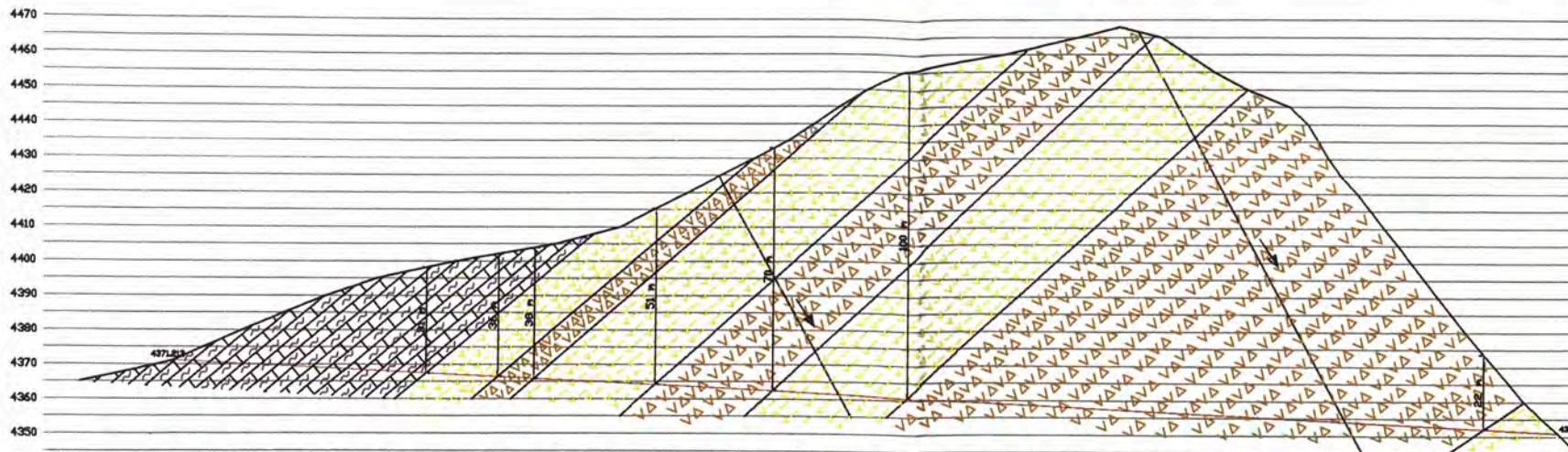
**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA**  
 FACULTAD DE INGENIERIA GEOLOGICA, MINERA Y METALURGICA  
 ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA GEOLOGICA  
 TESIS PARA OPTAR EL TITULO PROFESIONAL DE INGENIERO GEOLOGO  
 GEOLOGIA Y GEOTECNIA DEL AREA DE LAS OBRAS DE DERIVACION DEL PROYECTO  
 DE OPTIMIZACION DEL SISTEMA DE RELAVES DE LA MINA ANDAYCHAGUA  
 UNIDAD ECONOMICA ADMINISTRATIVA YAULI - VOLCAN COMPAÑIA MINERA S.A.A.

PERFIL LONGITUDINAL TUNEL PROGRESIVA 273.00

**PLANO**  
 9.4.8.1

FECHA: MAY 2006 ESCALA: 1/1500

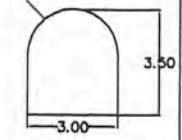




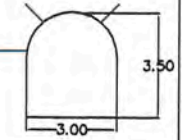
Progresiva	0+100	0+120	0+130	0+140	0+150	0+160	0+170	0+180	0+190	0+200	0+210	0+220	0+230	0+240	0+250	0+260	0+270	0+280	0+290	0+300	0+310	0+320	0+330	0+340	0+350	0+360	0+370	0+380	0+390	0+400	
<b>Litología</b>	Horizonte de mármol cristalizado, moderadamente fracturado, duro y levemente alterado (grupo Excelcor)										Intercalación de capas volcánicas, consistente en brechas andesíticas, tufos y lavas con textura fluidal, laminares, muy fracturadas a moderadamente fracturadas, duras y leve a moderadamente alteradas, perteneciente al grupo Excelcor																				
<b>Estructura</b>											F <sub>1</sub>											F <sub>2</sub>									
<b>RQD</b>	60	70 - 90	40-80	60/80	40-60	60 - 80	40-80	60/80	40-80	60 - 80	60 - 80	60 - 80	60 - 80	60 - 80	60 - 80	60 - 80	60 - 80	60 - 80	60 - 80	60 - 80	60 - 80	60 - 80	60 - 80	60 - 80	60 - 80	60 - 80	60 - 80	60 - 80	60 - 80	60 - 80	60 - 80
<b>Jn</b>	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9
<b>Jr</b>	2	2	1.5	2	1.5	2	1.5	2	1.5	2	1.5	2	1.5	2	1.5	2	1.5	2	1.5	2	1.5	2	1.5	2	1.5	2	1.5	2	1.5	2	1.5
<b>Ja</b>	3	1 - 2	1 - 2	1-2	1 - 2	1 - 2	1-2	1 - 2	1-2	1 - 2	1-2	1 - 2	1-2	1 - 2	1-2	1 - 2	1-2	1 - 2	1-2	1 - 2	1-2	1 - 2	1-2	1 - 2	1-2	1 - 2	1-2	1 - 2	1-2	1 - 2	1-2
<b>Jw</b>	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
<b>SRF</b>	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	1	2.5	1	2.5	1	2.5	1	2.5	1	2.5	1	2.5	1	2.5	1	2.5	1	2.5	1	2.5	1	2.5	1	2.5	1	2.5
<b>Índice Q</b>	1.8	3.1 - 8	1.3 - 4	2.6/1.1	1.3 - 4	6.7 - 17.8	3.3/10.0	0.2/0.4	3.3/10.0	6.7 - 17.8	3.3/10.0	0.2/0.4	3.3/10.0	6.7 - 17.8	3.3/10.0	0.2/0.4	3.3/10.0	6.7 - 17.8	3.3/10.0	0.2/0.4	3.3/10.0	6.7 - 17.8	3.3/10.0	0.2/0.4	3.3/10.0	6.7 - 17.8	3.3/10.0	0.2/0.4	3.3/10.0	6.7 - 17.8	3.3/10.0
<b>Valuación Rc</b>	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12
<b>Valuación RQD y aspersion</b>	20/25	20 - 25	14-18	18/22	14-18	18 - 22	14/18	10/18	14/18	18 - 22	14/18	10/18	14/18	18 - 22	14/18	10/18	14/18	18 - 22	14/18	10/18	14/18	18 - 22	14/18	10/18	14/18	18 - 22	14/18	10/18	14/18	18 - 22	
<b>Valuación Condición</b>	15/20	20	15-20	20	15-20	20	15/20	10/20	15/20	20	15/20	10/20	15/20	20	15/20	10/20	15/20	20	15/20	10/20	15/20	20	15/20	10/20	15/20	20	15/20	10/20	15/20	20	
<b>Valuación hidrogeológico</b>	15	15 - 20	15-10	15	15	15	15	10	15	15	15	10	15	15	15	10	15	15	15	10	15	15	10	15	15	15	10	15	15	10	
<b>Corrección orientación</b>	-5	-5	-5	-5	-5	-5	-5	-5	-5	-5	-5	-5	-5	-5	-5	-5	-5	-5	-5	-5	-5	-5	-5	-5	-5	-5	-5	-5	-5	-5	-5
<b>Índice RMR</b>	57/67	57 - 67	46-60	60/64	51-60	60-64	51-60	29/51-60	51-60	60 - 64	51-60	29/51-60	51-60	60 - 64	51-60	29/51-60	51-60	60 - 64	51-60	29/51-60	51-60	60 - 64	51-60	29/51-60	51-60	60 - 64	51-60	29/51-60	51-60	60 - 64	
<b>Índice G.S.I.</b>	F/R	F/B	F/B-MF/B	F/B	F/B-MF/B	F/B	F/B-MF/R	F/R	F/B-MF/R	F/B	F/B-MF/R	F/R	F/B-MF/R	F/B	F/B-MF/R	F/R	F/B-MF/R	F/B	F/B-MF/R	F/R	F/B-MF/R	F/B	F/B-MF/R	F/R	F/B-MF/R	F/B	F/B-MF/R	F/R	F/B-MF/R	F/B	
<b>Profundidad</b>	0-0																														
<b>Tipo de sostenimiento</b>	B	A	A	A	A	A	A	C	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	
<b>Tipo de revestimiento</b>	2	1	1	1	1	1	1	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	

### TIPOS DE SOSTENIMIENTO

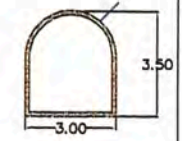
**TIPO A**  
SIN SOPORTE O PERNO OCASIONAL CEMENTADO DE 1.8 M DE LONGITUD.



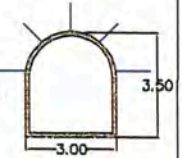
**TIPO B**  
PERNOS DE FIERRO CEMENTADO DE 1.8 M DE LONGITUD. 4 PERNOS / CADA 1.5 M MALLA O SHOTCRETE OCASIONAL.



**TIPO C**  
CAPA DE SHOTCRETE CON FIBRA EN PAREDES Y TECHO DE 5.0 CM DE ESPESOR. PERNO CEMENTADO OCASIONAL DE 1.8 M DE LONGITUD.



**TIPO D**  
CAPA DE SHOTCRETE CON FIBRA EN PAREDES Y TECHO CON 10.0 CM DE ESPESOR. 5 PERNOS CEMENTADOS SISTEMATICOS, 1.8 M DE LONGITUD, POR SECCIONES ESPACIADAS CADA 1.0 M.



### TIPO DE REVESTIMIENTO

**TIPO 1**  
Consistente en 5 Cms de espesor de shotcrete con fibra y solado de 15 Cms de espesor de concreto. F'c 140 Kg/Cm2

**TIPO 2**  
Consistente en 10 Cms de espesor de shotcrete con fibra y solado de 15 Cms de espesor de concreto. F'c 140 Kg/Cm2

**Características del Tunnel**  
Longitud = 404.0 m  
Sección = 10.0 m2  
Tipo = Baul  
Pendiente = -5%

- LEYENDA**
- Falla
  - Traza de Tunnel
  - Volcánico Brechoso (a<sub>2</sub>b<sub>2</sub>c<sub>2</sub>) = (F/B)
  - Mármol recristalizado en depósitos lenticulares (a<sub>2</sub>b<sub>2</sub>c<sub>2</sub>) = (F/B)
  - Volcánico metamorfozido laminares en textura fluidal-cataclástica (a<sub>2</sub>b<sub>2</sub>c<sub>2</sub>) = (MF/B)



**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA**  
FACULTAD DE INGENIERIA GEOLOGICA, MINERA Y METALURGICA  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA GEOLOGICA  
TESIS PARA OPTAR EL TITULO PROFESIONAL DE INGENIERO GEOLOGO  
GEOLOGIA Y GEOTECNIA DEL AREA DE LAS OBRAS DE DERIVACION DEL PROYECTO DE OPTIMIZACION DEL SISTEMA DE RELAVES DE LA MINA ANDAYCHAGUA  
UNIDAD ECONOMICA ADMINISTRATIVA YAULI - VOLCAN COMPAÑIA MINERA S.A.A.

PERFIL LONGITUDINAL TUNEL PROGRESIVA 404.00  
FECHA: ENE 2002 ESCALA: 1/2000

**PLANO**  
9.4.8.2