COMISION NACIONAL DE RIEGO
REPUBLICA DE CHILE

# INFORME GEOTECNICO ALTERNATIVAS CENTRALES HIDROELECTRICAS PROYECTO EMBALSE LOS ANGELES

04.05.1982

CONFECCIONADO PARA CICA INGENIEROS CONSULTORES

INYGE

COMISION NACIONAL DE RIEGO
REPUBLICA DE CHILE

# INFORME GEOTECNICO ALTERNATIVAS CENTRALES HIDROELECTRICAS PROYECTO EMBALSE LOS ANGELES

04.05.1982

CONFECCIONADO PARA CICA INGENIEROS CONSULTORES

INFORME GEOTECNICO ALTERNATIVAS CENTRALES HIDROELECTRICAS PROYECTO EMBALSE LOS ANGELES

C O N T E N I D O


| | | PGS |
|---|---|---|
| 1. | CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES | |
| 1.1 | Conclusiones | 1 - 2 |
| 1.2 | Recomendaciones | 3 |
| 2. | ANTECEDENTES DE INTRODUCCION | |
| 2.1 | Identificación del Proyecto Embalse Los Angeles | 4 - 5 |
| 2.2 | Reseña general de las alternativas de centrales hidroeléctricas | 6 - 7 |
| 2.3 | Objetivos y fuentes de sustentación del informe | 8 - 9 |
| 3. | ANTECEDENTES DE GEOMORFOLOGIA APLICADA | |
| 3.1 | Reseña climatológica | 10 |
| 3.2 | Caracterización del relieve | 11 - 12 |
| 3.3 | Red de drenaje | 13 - 14 |
| 3.4 | Coberturas vegetacionales y de suelos | 15 |
| 4. | CARACTERIZACION GEOLOGICA Y GEOTECNICA DE ROCAS Y SEDIMENTOS | |
| 4.1 | Rocas fundamentales | 16 |
| | (a) Rocas estratificadas | 16 - 17 |
| | (b) Rocas intrusivas | 17 |
| | (c) Rocas mineralizadas | 17 - 18 |
| 4.2 | Sedimentos de cobertura de las rocas fundamentales | 19 |
| | (a) Unidad Qo | 19 - 20 |
| | (b) Unidad Qfr | 20 |
| | (c) Unidad Qfa | 21 |
| | (d) Unidad Qe | 21 - 22 |
| 4.3 | Riesgos de remociones en masa | 23 - 24 |
| 5. | TECTONICA Y SISMICIDAD | |
| 5.1 | Tectónica | 25 - 26 |
| 5.2 | Sismicidad y riesgos sísmicos | 27 |
| 6. | CONSIDERACIONES HIDROGEOLOGICAS | 28 |
| 7. | EVALUACION GEOTECNICA DE LAS ALTERNATIVAS HIDROELECTRICAS | |

| | | |
|---|---|---|
| 7.1 | Alternativas de centrales de cola | 29 - 30 |
| 7.2 | Alternativas de centrales de pie de presa | 31 |
| 7.3 | Comentarios relativos a tuberías forzadas y casas de máquinas | 32 |
| 7.4 | Programa de exploraciones complementarias | 33 - 34 |

ANEXOS

| | |
|---|---|
| Ilustraciones fotográficas | 35 - 41 |
| Descripciones petrográficas | 42 - 51 |
| Figura 1 Perfiles AA' - BB' - CC' - DD' | s/n |
| Figura 2 Planta ubicación alternativa EE' | s/n |
| Figura 3 Perfil EE' | s/n |
| Plano 1 | s/n |

# 1. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

## 1.1 Conclusiones

1.1.1 Los aportes de aguas excedentes del Río Aconcagua que tendría el futuro Embalse Los Angeles, permitirían desarrollos hidroeléctricos con centrales de cola que pueden ubicarse en el costado izquierdo o en el costado derecho del vaso del embalse de referencia y tendrían una alimentación mediante canales, con un tramo en sifón para el cruce del Valle del Estero Guayacán en un caso y para el cruce de la Quebrada Pitipeumo en el otro, cuyos trazados están indicados sobre el Plano 1 de Anexos y a contar del km 0,00 de referencia que es punto inicial común de ambas posibilidades de conducciones.

1.1.2 Las condiciones geológicas y geotécnicas de los terrenos que comprometería el desarrollo hidroeléctrico de una central de cola en el costado derecho u oriental, son claramente menos favorables que lo correspondiente al otro costado y tanto en lo relativo al trazado de la conducción de alimentación, la cual sería además más larga, como particularmente en lo que concierne al sitio de la zona de caída y de la casa de máquinas de la misma central.

1.1.3 Existen dos posibilidades muy atractivas para el emplazamiento de una central de cola en el costado izquierdo u occidental del vaso del futuro embalse; una al término del km 5,7 y la otra al término del km 6,3 de la conducción de alimentación. Ambas, identificadas respectivamente según los perfiles AA' y BB' del Plano 1 y Figura 1 de Anexos, tienen condiciones geológicas y geotécnicas similares pero difieren en características topográficas que pueden facilitar, en el caso de la alternativa BB', un mejor diseño hidroeléctrico.

1.1.4 La zona de caída y de casa de máquinas, en las posibilidades de centrales de cola AA' y BB', contiene a poca hondura o bien en la misma superficie, rocas intrusivas dioríticas de buenas propiedades geomecánicas aunque bastante fracturadas; como asimismo presenta características topográficas favorables para que las tuberías forzadas se dispongan al exterior ancladas al basamento rocoso y para que la casa de máquinas se ubique también al exterior pero sobre una plataforma excavada en la roca.

1.1.5 Los canales de alimentación para las posibilidades de centrales de cola AA' y BB' de Figura 1 de Anexos, deben presupuestarse con revestimientos de impermeabilización en todo el recorrido correspondiente. Por su parte el cruce mediante sifón del Valle del Estero Guayacán, de las conducciones de

aguas hacia ambas posibilidades, debería presupuestarse enterrado y anclado a más de 2 m bajo la superficie para prevenir desplazamientos que pueden motivar, en los primeros 2 m desde la superficie de los materiales fluvioaluvionales recientes del citado valle, grandes crecidas del Estero Guayacán y las cuales pueden ocurrir para períodos de retorno de 10 años.

1.1.6 Cualquier posibilidad de central de pie de presa, para el aprovechamiento hidroeléctrico de las aguas que almacenará el futuro Embalse Los Angeles, deberá ubicarse en el macizo rocoso que constituiría el apoyo derecho u oriental del muro que contempla el proyecto de dicho embalse; esto por el hecho de que claramente, en el otro apoyo, aparecen potentes sedimentos de cobertura de las rocas fundamentales que dificultan y prácticamente no permiten la ubicación de un sitio adecuado como zona de caída y de casa de máquinas.

1.1.7 En el apoyo derecho del muro del futuro embalse podrían disponerse dos soluciones atractivas como centrales de pie de presa; una que sería posiblemente muy conveniente si se independiza de la extracción de aguas para riegos y que corresponde a la del Perfil DD' de Figura 1 de Anexos; y otra, la cual debía examinarse conforme a los términos de referencia entregados para la confección del presente informe, que sería la más recomendable si se desea aprovechar, con el correspondiente desarrollo hidroeléctrico, la obra de toma y parte de la aducción de las obras de entrega diseñadas anteriormente en el estudio de factibilidad física del Proyecto Embalse Los Angeles; tal cual se aprecia en la disposición de planta que esta solución EE' tiene sobre la Figura 2 de Anexos.

1.1.8 La solución DD' de Central de Pie de Presa cruzaría en todo su recorrido rocas fundamentales, de la Formación Abanico Kvs de Plano 1 de Anexos, las cuales serían aquí de aceptable a buena calidad geotécnica para las fundaciones y excavaciones subterráneas que requeriría la ejecución final de la misma solución.

1.1.9 La solución EE' no presentaría problemas geotécnicos relevantes en la parte que sería común con las obras de toma y de entrega diseñadas anteriormente para el Proyecto de Embalse Los Angeles; y asimismo no mostraría dificultades en su tramo de túnel blindado que cortaría a través de rocas de aceptable a buena calidad geotécnica. Pero podría experimentar problemas potenciales, en el sector establecido preliminarmente para su casa de máquinas, debido a la ocurrencia allí de potentes sedimentos de cobertura según el Perfil EE' de la Figura 3 de Anexos; de modo que, por esta razón, es recomendable desplazar la eventual casa de máquinas hacia cerro adentro y emplazarla, totalmente en roca, mediante el corte de la plataforma que sugiere el Perfil EE' de referencia.

## 1.2 Recomendaciones

1.2.1 Decidir que cualquier desarrollo hidroeléctrico conveniente, para una central de cola asociada al Proyecto Embalse Los Angeles y a los aportes de aguas que proporcionarían excedentes del Río Aconcagua, deberá situarse en el costado izquierdo u occidental del vaso del mismo embalse.

1.2.2 Estimar muy atractivas, para las ubicaciones de zonas de caídas y de casas de máquinas de centrales hidroeléctricas de cola, los sitios definidos por los perfiles AA' y BB' de Plano 1 y Figura 1 de Anexos.

1.2.3 Considerar adecuados como también económicos, para obtener el conocimiento geológico-geotécnico que requerirán los proyectos finales de los desarrollos hidroeléctricos que interesan, los programas de exploraciones adicionales sugeridos en la sección 7.4 del presente informe.

1.2.4 Suponer que los materiales locales adecuados para el suminsitro de áridos, los cuales corresponden a los de la Unidad Qfr de Plano 1 de Anexos, son potencialmente reactivos; y decidir, conforme a lo anterior, el empleo únicamente de cementos de bajo contenido de álcalis libres en eventuales concretaduras que requieran las futuras obras de los proyectos hidroeléctricos que preocupan.

SANTIAGO, 4 de mayo de 1982

Juan Karzulović Kokot
Ingeniería y Geotecnia Ltda

## 2. ANTECEDENTES DE INTRODUCCION

### 2.1 Identificación del Proyecto Embalse Los Angeles

Este proyecto corresponde a una obra de regulación con presa de tierra zonificada que se ubicará, en el Valle del Estero Los Angeles, inmediatamente abajo de la confluencia de dicho cauce con el del Estero Guayacán y a más o menos 11 km directamente aguas arriba, al Sureste, de la desembocadura del mismo Estero Los Angeles en el Río La Ligua que se produce unos 5 km arriba de la localidad de Cabildo.

Con relación a los objetivos del actual informe, el futuro Embalse Los Angeles tendría una altura máxima de 80 m en su eje y su cota de inundación se dispondría aproximadamente en los 425 m, según el Plano 1 a escala 1:10.000 de Anexos, con lo cual almacenaría 379 x $10^6$ $m^3$. Conforme además con estudios de factibilidad física ya terminados (*), el proyecto tiene definidos los emplazamientos del eje del muro y de las obras para la desviación, la evacuación de crecidas, y la entrega de las aguas que proporcionará el embalse; ubicándose, las obras de referencia, en el apoyo derecho del muro.

Los estudios de factibilidad recién mencionados (*) contemplan el aprovechamiento del túnel de desviación como obra de entrega de las aguas del embalse y de modo que, en base de los antecedentes más actualizados, el volumen de aguas muertas sería de solamente $9x10^6$ $m^3$ y equivaldría al volumen de sólidos de arrastre que penetrarían y se acumularían en el embalse durante un lapso de 100 años.

La capacidad de almacenamiento del futuro embalse excede sobradamente lejos el potencial de alimentación normal de la hoya local o propiamente del Estero Los Angeles y por esta razón está concebido con recarga suplementaria, la más importante, proveniente de excedentes del sistema del Río Aconcagua. En este aspecto han sido contempladas dos alternativas de recargas suplementarias y ambas con tramos tanto en canal como con aducciones a través de túneles; la alternativa original y válida durante el transcurso de los estudios de factibilidad física ya citados, consideraba un aporte desde el Río Putaendo y

(*) DIRECCION DE RIEGO 1.1979
Proyecto Embalse Los Angeles y Túnel Veta del Agua.
Primera Etapa. Factibilidad Física.
Informe Final. Volúmenes 1-2-3-4.
Confeccionado por :
Guillermo Noguera y Asociados.
Ingenieros Consultores Ltda.

y entrega desde el Este; mientras la alternativa más reciente, la cual se asocia con las probabilidades de desarrollos hidroeléctricos que motivan el presente informe, contempla un aporte del Río Aconcagua con entrega desde el Sur, por el valle del tributario Estero de Catemu del Aconcagua, el cual posibilitaría lograr la cota 525 m en el sitio indicado km 0,00 del trazado de canales señalados, para los eventuales desarrollos hidroeléctricos, sobre el Plano 1 de Anexos.

## 2.2 Reseña general de las alternativas de centrales hidroeléctricas

Según los términos de referencia entregados para el presente informe, las alternativas de centrales hidroeléctricas que deben investigarse corresponden a una Central de Cola o con restitución a la cota de inundación del futuro embalse, y a una Central de Pie de Presa que restituiría poco aguas abajo del muro del Embalse Los Angeles.

La posibilidad de Central de Cola aprovecharía, como carga hidráulica, la diferencia de altura entre la entrega de los aportes provenientes del Río Aconcagua y la restitución a la cota de inundación del embalse; esto es una caída bruta potencial de más o menos 100 m si se consideran, respectivamente, las cotas de los 525 (*) y 425 m (**).

La posibilidad de Central de Pie de Presa utilizaría, como carga hidráulica, la diferencia de altura entre la cota de inundación del embalse y el piso al cual deberían restituirse las aguas pertinentes que sería, en el mejor de los casos, no más bajo que 338 m; esto es una caída bruta potencial de unos 87 m si se supone, igualmente, una cota de inundación 425 m (**).

La alternativa de Central de Cola tiene dos soluciones que se excluyen mutuamente y las cuales derivan de las aducciones de canales señaladas como atractivas en el Plano 1 de Anexos; una por el costado occidental y la otra por el costado oriental del vaso del Embalse Los Angeles. Pero cualquiera sea la solución elegida como Central de Cola, ésta no se excluye con la posibilidad de una segunda instalación hidroeléctrica como Central de Pie de Presa.

Conforme a los antecedentes disponibles para el actual informe, las alternativas de Centrales de Cola podrían tener caudales de alimentación máximos comprendidos entre 12,5 y 20 $m^3/s$; con lo que tales centrales deberían diseñarse para potencias instaladas con rangos respectivamente de 10.000 y 16.000 KW, con caudales medios probables de unos 10 y 14 $m^3/s$.

(*) La citada cota 525 m corresponde a la del inicio de los canales de conducción hacia las posibilidades de ubicación de las centrales de cola y que es común, para ambos costados del vaso, según km 0,00 de Plano 1 de Anexos. Por otra parte, los canales de conducción serían diseñados con una pendiente de 0,4 por mil.

(**) Sin perjuicio de que finalmente el nivel de aguas máximas del futuro embalse se establezca en la cota aproximada 418 m y con lo cual se obtiene mayor carga hidráulica en las centrales de cola y menor en la Central de Pie de Presa.

Para lo concerniente a la posibilidad de Central de Pie de Presa es difícil precisar, al tenor de los antecedentes ahora existentes, la potencia instalada que resultaría óptima en cuanto a inversiones y rentabilidad; esto por el hecho de que el Proyecto del Embalse fue concebido esencialmente para regulaciones de aguas que se destinarían exclusivamente a riegos y no es conocido, por el autor del presente informe, el régimen de extracciones con el cual funcionaría el futuro embalse. En todo caso puede estimarse que la potencia instalada de la eventual Central de Pie de Presa tendría un rango próximo a los 15.000 KW.

Conforme con los términos de referencia entregados para la confección del actual informe geotécnico, debe examinarse aquí una solución de Central de Pie de Presa que aprovechará parte de las obras de toma y de entrega diseñadas, anteriormente, por el Estudio de Factibilidad Física del Proyecto Los Angeles; de tal manera que esta solución, cuya disposición de trazado se ubica según Figura 2 de Anexos, tendrá la misma obra de toma establecida en el estudio de factibilidad recién mencionado y además utilizará, como aducción común, los primeros 210 a 220 m de recorrido del túnel de desviación y de entrega contemplados por el ya citado estudio de factibilidad. Más hacia aguas abajo y de acuerdo a lo ilustrado por la Figura 2 de Anexos, la solución que se reseña tendrá una aducción por túnel blindado de unos 350 m de largo que entregará a su correspondiente Casa de Máquinas, al exterior, la cual se dispondría a unos 70 m al Noreste de la descarga al exterior del túnel de desviación y de entrega diseñado en el Proyecto de Embalse Los Angeles.

Sin perjuicio de lo anterior, el presente informe sugiere una segunda solución de la Central de Pie de Presa que preocupa y cuyo trazado, según el Perfil DD' de Plano 1 y Figura 1 de Anexos, puede resultar atractivo si se considera independizar la extracción de las aguas destinadas directamente a riegos, de la extracción de las aguas que previamente tendrían aprovechamiento hidroeléctrico.

## 2.3 Objetivos y fuentes de sustentación del informe

### 2.3.1 Objetivos

Están orientados principalmente a establecer las características geológicas y geotécnicas de los sitios que pueden considerarse adecuados para el emplazamiento de las zonas de caída, como también de las casas de máquinas correspondientes, de las alternativas de centrales hidroeléctricas reseñadas según la sección 2.2 anterior de este texto. Todo esto según solicitud de la Firma CICA INGENIEROS y con base en reconocimientos geológicos de superficie, de los terrenos involucrados, complementados por el aprovechamiento de la amplia información geológica geotécnica, tanto de superficie como de subsuperficie, reunida en el transcurso de los estudios y labores exploratorias efectuados previamente para la Factibilidad Física del Proyecto Embalse Los Angeles.

Es importante además que el actual informe decida, conforme a las condiciones geológicas y geotécnicas existentes, en cual de ambos costados del vaso del futuro embalse debería ubicarse la alternativa de Central de Cola más conveniente. Como también es importante que se señale, en este informe, el programa de exploraciones complementarias que permitiría, al menor costo posible, fundamentar el conocimiento geológico geotécnico requerido para la confección de los proyectos finales de las alternativas de centrales hidroeléctricas que se determinen como efectivamente atractivas.

Aunque la evaluación geotécnica de los terrenos que comprometerán los trazados de canales de alimentación de las alternativas de centrales de cola no constituye parte de los objetivos del presente informe, interesa destacar que se entregan aquí antecedentes suficientes como para comparar, en uno y otro costado del vaso del futuro embalse, el mayor o menor atractivo en cuanto a problemas geotécnicos de los trazados de canales marcados sobre el Plano 1 de Anexos.

2.3.2 Fuentes de sustentación

Están representadas por experiencias directas del autor del presente informe, en lo concerniente a la geología y geotecnia de la zona del Proyecto Embalse Los Angeles, las cuales fueron adquiridas con ocasión de su participación directa y personal en los siguientes trabajos previos :

KARZULOVIC K.J. 1.1975
Informe geotécnico de la Región del Proyecto Embalse Los Angeles.
Primer Informe Geotécnico.
Documentación de Archivo Dirección de Riego.

KARZULOVIC K.J. 1.1979
Informe geotécnico para el Proyecto Embalse Los Angeles.
Segundo Informe Geotécnico.
Confeccionado para Guillermo Noguera y Asociados.

Fueron de extraordinario apoyo además, para el actual informe, la amplia y detallada exposición de antecedentes geológicos y geotécnicos que documenta el estudio de factibilidad física del Proyecto Embalse Los Angeles siguiente :

DIRECCION DE RIEGO (*) 1.1979
Proyecto Embalse Los Angeles y Túnel Veta del Agua.
Primera Etapa. Factibilidad Física.
Informe Final. Volúmenes 1-2-3-4.
Confeccionado por :
Guillermo Noguera y Asociados.
Ingenieros Consultores Ltda.

Cabe agregar que resultaron asimismo valiosos, en la preparación del presente informe, trabajos destinados por su autor a la actualización de los conocimientos adquiridos previamente y al examen de los problemas geológicos y geotécnicos específicos de las alternativas de centrales hidroeléctricas que ahora preocupan. Estos trabajos han incluído, en especial, reconocimientos geológicos de superficie realizados en la primera quincena del mes de abril de este año, muestreos y determinaciones petrográficas de los tipos de rocas de los sitios examinados, al igual que exámenes e interpretaciones geológicas de fotografías aéreas, correspondientes a un Vuelo SAF del año 1977 con escala aproximada 1:20.000, de las cuales se ampliaron hasta escala 1:10.000 los sectores que contienen a las diferentes alternativas de centrales hidroeléctricas investigadas.

(*) Incluye en su volumen 2 de 4 el informe antes citado de KARZULOVIC K.J. (1.1979)

# 3. ANTECEDENTES DE GEOMORFOLOGIA APLICADA

## 3.1 Reseña climatológica

El sistema de drenajes del Estero Los Angeles, en cuya cuenca se ubican las alternativas de centrales hidroeléctricas examinadas, presenta un regimen climático de estepa cálida y de tipo mediterráneo que se caracteriza por un monto pluviométrico normal de unos 300 mm en las áreas de tierras bajas y de 350 a 400 mm en los terrenos orientales más altos de la misma cuenca.

Las precipitaciones son habitualmente siempre como aguas lluvias aunque en forma excepcional, con frecuencia de uno en cada ciclo de 10 a 15 años, pueden ocurrir nevazones pequeñas en los cordones de las divisorias surorientales del sistema hidrográfico del Estero Los Angeles y donde se alcanzan cumbres máximas poco superiores a los 2.300 m.

El régimen pluviométrico define típicamente una estación con lluvias generalmente abundantes que es la del período de mayo-junio- julio-agosto y cuando tiende a producirse, normalmente, más del 80 % de las precipitaciones del año. Mientras en los restantes meses del año las lluvias son corrientemente escasas y particularmente pobres, hasta frecuentemente inexistentes, en los meses de diciembre-enero-febrero - marzo.

Son comunes, durante la estación invernal o lluviosa, precipitaciones intensas y copiosas aunque de relativa corta duración; de manera que cabe esperar la ocurrencia, con frecuencia de una vez cada 10 y 50 años, de precipitaciones de intensidades en el rango de 100 y 150 mm /24 hrs respectivamente. Estas precipitaciones intensas suelen durar varias horas y entonces originan arrastres importantes, del tipo de aluviones o corrientes de barro, tanto en los cauces mayores del sistema hidrográfico del Estero Los Angeles como en sus tributarios con envergadura superior a 5 $km^2$ de superficie hidrográfica; asimismo dichas lluvias intensas pueden motivar desplazamientos, hacia ladera abajo, de las escombreras situadas en terrenos potencialmente inestables y cuales son particularmente, sobre el Plano 1 de Anexos, los correspondientes a laderas de algún empinamiento y en las porciones cercanas al contacto entre escombreras y rocas fundamentales.

## 3.2 Caracterización del relieve

El paisaje de la zona investigada aparece definido por cadenas montañosas que son predominantes y por áreas de tierras bajas correspondientes a los valles y quebradas que interrumpen, de trecho en trecho, la continuidad de los cordones montañosos.

Las áreas de tierras altas o montañosas se empinan rápidamente en sus alturas hacia el Este y de modo que, en las divisorias Surorientales del sistema hidrográfico del Estero Los Angeles, logran cumbres poco superiores a los 2.300 m; hacia el poniente se produce un gradual aunque sensible descenso del relieve montañoso, pero siempre se mantiene un fuerte contraste entre dicho relieve y el correspondiente a las tierras comparativamente bajas y de tal forma que las divisorias de los tributarios locales menores, del sistema hidrográfico que se comenta, se ubican frecuentemente algunos centenares de metros por encima de los pisos o fondos de los cauces principales del mismo sistema.

Cabe agregar que el relieve alto divisorio, entre el sistema del Estero Los Angeles y el tributario Estero de Catemu del Río Aconcagua, alcanza altitudes con rango de 1.400 m en los cordones que deberán ser cruzados, mediante un túnel de recorrido 5,5 km aproximado, para conducir, hacia el futuro Embalse Los Angeles, los aportes de excedentes de aguas del Río Aconcagua que alimentarían las alternativas de centrales de cola ahora examinadas.

Las áreas de tierras bajas o deprimidas logran anchuras bastante notables en los valles que contienen actualmente al Estero Los Angeles propiamente tal y a su tributario el Estero Guayacán; como asimismo, en forma menor, para el caso del tributario Quebrada Pitipeumo del Estero Guayacán. En este aspecto y aunque los ensanchamientos de referencia han sido producidos con la colaboración de los procesos fluvioaluvionales y de remociones en masa cuaternarios que se asocian a las actividades de los cauces principales actuales, es razonablemente seguro que esos valles son la actual expresión de cubetas antiguas que fueron desarrolladas, primariamente, en función de fenómenos tectónicos correspondientes especialmente a solevantamientos y hundimientos de bloques.

Importa señalar que el relieve de los fondos de los valles principales locales revela actualmente la existencia de tres unidades geomorfológicas que se asocian, respectivamente, a las tres unidades de sedimentos cuaternarios distinguidas en el Plano 1 de Anexos. Estas unidades geomorfológicas son las reseñadas, en lo que sigue, conforme a la altitud que alcanzan sus correspondientes exposiciones de superficie :

La unidad topográficamente más baja aparece ligada a los materiales sectorizados Qfr en el plano de referencia, contiene a los sedimentos fluvioaluvionales recientes de los cauces actuales y queda inundada por éstos con ocasión de sus grandes cre-

cidas normales; tiene pendiente suave hacia aguas abajo, pero su topografía se presenta discontinuada por frecuentes islo - tes, de gravas arenosas y de hasta unos 2 m de altura, entre los cuales se encuentran los diversos brazos que diseminan los escurrimientos de superficie de los esteros mayores de la zona investigada. Esta topografía irregular es cambiante, de uno a otro año que se considere, particularmente cuando ocu - rren lluvias abundantes y se producen arrastres, como también acumulaciones, las cuales modifican los lechos de los brazos de diseminación de aguas y también las formas de los islotes intercalados con aquellos,

La unidad topográficamente intermedia se encuentra relaciona- da con los depósitos fluvioaluvionales marcados Qfa en el pla no de la referencia y los cuales, más antiguos que los mate - riales Qfr pero siempre cuaternarios, componen niveles aterra zados situados algunos m por encima del piso de la unidad Qfr. Tiene actitud planiforme y pendiente suave tanto hacia valle abajo como directamente en dirección a los cauces que escu - rren sobre la Unidad Qfr. Esta Unidad Qfa, donde aparece, es nítida y en general muy estable; pero en muchos tramos de los valles que se comentan ha desaparecido por erosión o bien se encuentra oculta bajo las cubiertas de escombreras laterales que se asocian con la unidad geomorfológica más alta de las aquí denominadas áreas de tierras bajas.

La unidad topográficamente más alta de los fondos de los va - lles actuales, está identificada con las escombreras de las laderas de los cerros que enmarcan los costados de tales va - lles y asimismo con los depósitos, del tipo conos de deyec - ción, descargados por las quebradas que tributan desde dichos cerros laterales hacia los cauces principales. Muestra una topografía propia de planos suavemente inclinados y tiende a ser estable en la parte terminal inferior de esos planos in - clinados mientras, en la porción superior o ápice y particu - larmente junto a los contactos con los afloramientos de rocas fundamentales, manifiesta frecuentemente inestabilidades la - tentes aunque sea de pendiente relativamente poco empinada.

## 3.3 Red de drenaje

El tributario Estero Los Angeles del Río La Ligua queda constituído, conforme a la toponimia de la Cartografía Regular del Instituto Geográfico Militar (*), por la confluencia del cauce propiamente del Estero Los Angeles que proviene del Este y del Estero Guayacán que viene del Sur; este último, formado a su vez por la junta del cauce propiamente del Estero Guayacán cuya hoya principal se desarrolla en el Oeste y de la Quebrada Pitipeumo que avanza desde el Este.

Hasta la presa del futuro embalse, la cual se dispondrá muy poco abajo de la confluencia de los esteros Los Angeles y Guayacán, el sistema hidrográfico que se comenta reúne una superficie colectora de 345 $km^2$ y correspondiente casi por iguales partes a las cuencas de ambos cauces principales.

El régimen de los cauces locales es netamente pluvial y queda caracterizado por escurrimientos normales muy importantes durante la temporada de lluvias invernales, al igual que por gastos extraordinariamente modestos en el transcurso del estiaje y que suelen desaparecer totalmente, hacia los meses de febrero - marzo - abril, cuando no se producen precipitaciones relevantes en la primavera - verano.

Con ocasión de lluvias muy intensas y copiosas, las crecidas de los principales cauces de la zona investigada alcanzan gastos extraordinarios, aunque de relativa corta duración, de manera que para una frecuencia de retorno de 1 en cada ciclo de 10 años puede esperarse la ocurrencia probable de escurrimientos capaces de movilizar y desplazar materiales gruesos correspondientes a la Unidad Qfr indicada sobre Plano 1 de Anexos.

Tal como se aprecia en los trazados de canales señalados sobre Plano 1 de Anexos, cualquier alternativa de Central de Cola en el costado occidental o izquierdo del vaso del futuro embalse exige cruzar el cauce del Estero Guayacán; mientras toda alternativa por el otro costado requiere cruzar el cauce de la Quebrada Pitipeumo. En la sección recomendable para el cruce del Estero Guayacán se reúne una superficie hidrográfica de más o menos 70 $km^2$; mientras, en la sección de cruce recomendable por la Quebrada Pitipeumo, se tiene una superficie hidrográfica aproximada de 55 $km^2$.

(*) Denominación que se sugiere mantener aunque es inversa a la utilizada por los lugareños, y también en cartografía ajena a la del Instituto Geográfico Militar, la cual indica como Estero Los Angeles lo que este informe señala como Estero Guayacán y vice versa.

Dado que la hoya de la Quebrada Pitipeumo drena un relieve comparativamente mucho más alto y por consiguiente con mayor monto de precipitaciones, puede suponerse que la magnitud de las crecidas probables en ambos cruces que interesan son más o menos equivalentes y por consiguiente no serían significativamente diferentes, en cuanto a los problemas que implicarían las crecidas grandes, los cruces de referencia. En este aspecto puede estimarse, como opinión de avance, el hecho de que los caudales máximos de las crecidas por las aducciones que ahora preocupan alcanzarían valores de unos 75 a 200 $m^3/s$ según se consideren, respectivamente, períodos de retorno de 10 a 500 años.

Siempre con referencia a los problemas que puedan originar las crecidas de los cauces locales en las condiciones que deben contemplar las alternativas de centrales de cola, conviene señalar que todo cruce de cauce requerirá ser considerado como eventual obra de arte y con potencial mayor complejidad según mayor sea la superficie hidrográfica del cauce pertinente. Respecto de esto resulta claro que las quebradas laterales, a lo largo de los trayectos de conducciones eventuales, son menos importantes en el costado occidental o izquierdo y de manera que, sin perjuicio de otras consideraciones, una conducción por el lado occidental es más atractiva que una por el lado oriental.

## 3.4 Coberturas vegetacionales y de suelos

La vegetación natural de la zona investigada es típicamente de matorrales y de pastos cortos; estos últimos únicamente de temporada y con tendencia a marchitamiento durante el transcurso del verano.

Los matorrales son generalmente de 1 a 1,5 m de altura y de raíces cortas, alcanzan localmente gran desarrollo en partes de los terrenos de la Unidad Qfr y tienen su mayor distribución en las áreas aterrazadas de la Unidad Qfa. En los terrenos de escombreras de la Unidad Qe constituyen cubiertas muy irregulares cuya ausencia, en dicha unidad, denota habitualmente la presencia de escombreras inestables y propensas a desplazamientos gravitacionales. En los sectores correspondientes a rocas fundamentales son asimismo muy irregulares y, en general, bastante más raleados que sobre los terrenos con rellenos de sedimentos cuaternarios Qfr - Qfa - Qe.

Es importante destacar que las cubiertas de vegetación natural son corrientemente más tupidas en el costado occidental del vaso del futuro embalse y de modo que dicho costado tiene en general, por esta razón, mayor estabilidad que el costado oriental.

Los materiales propiamente de suelos son delgados hasta frecuentemente inexistentes en los terrenos investigados con este informe y tienen cierta relevancia únicamente en la Unidad Qfa, de Plano 1 de Anexos, donde pueden alcanzar espesores de 0,20 a 0,40 m y quedan caracterizados por limos arcillosos comparativamente ricos en restos de raíces y siempre con abundante grava o gravilla diseminada.

# 4. CARACTERIZACION GEOLOGICA Y GEOTECNICA DE ROCAS Y SEDIMENTOS

## 4.1 Rocas fundamentales

En la zona investigada están representadas por los materiales de un potente paquete estratificado, el cual debe suponerse de edad cretácica media a superior, como asimismo por materiales intrusivos de naturaleza granodiorítica a diorítica originados posteriormente que deben considerarse de edad cretácica superior a terciaria media.

### (a) Rocas estratificadas

En la zona investigada se corresponden con rocas afines y contemporáneas de las definidas como componentes de la llamada Formación Abanico en la literatura geológica moderna de Chile. Aquí presentan una actitud general de tipo homoclinal hacia el Este y rumbos regionales, cercanos a Norte - Sur, los cuales localmente y en especial al Este del vaso del futuro embalse, aparecen desplazados por dislocaciones tectónicas de origen antiguo y probablemente no más nuevas que el Terciario Medio a Superior.

Las rocas estratificadas de la zona estudiada tienen manteos esencialmente al Este y cuyas inclinaciones, en general, sólo ocasionalmente son más empinadas que 10 a 20° respecto de la horizontal. Sin perjuicio de que, a menudo, los mantos o capas se aprecian macizos y sin rasgos nítidos de estratificación.

En las áreas que interesan, las rocas estratificadas consisten principalmente de volcanitas francas y de volcanitas clásticas; como también, eventualmente, de estratos de rocas propiamente sedimentarias que tendrían reducida importancia local si bien, al Este del vaso del futuro embalse, se encuentran cada vez con mayor desarrollo y superior potencia de capas.

Las rocas estratificadas de la zona cubierta con el Plano 1 de Anexos, las cuales definen la Unidad KVS del mismo plano, son de los tipos prevalecientes siguientes :

Lavas andesíticas afaníticas a porfíricas de color grisáceo oscuro.
Lavas brechosas y brechas andesíticas de color gris verdoso.
Lavas brechosas y brechas andesíticas de color gris rojizo.
Brechas tobíferas y tobas cenicientas grises rojizas.

Las lavas andesíticas afaníticas a porfíricas, al igual que las lavas brechosas y brechas grises verdosas, son predominantes en el sector de la presa y asimismo en el costado occidental del vaso del futuro embalse. Identifican habitualmente rocas macizas y duras, a menudo algo metamorfoseadas y muy duras, las que se aprecian con escasa descomposición y muy buena calidad química; estas mismas rocas son corrientemente de mediana

hasta alta resistencia a la compresión simple y presentan, pese a estar cruzadas por un denso patrón de fracturas, aceptables a muy buenas propiedades geomecániças cuando no se muestran perturbadas a alteradas por fallamientos.

Las lavas brechosas y brechas grises rojizas, las que se encuentran más frecuentemente en el costado oriental o derecho del vaso del futuro embalse, son de inferior calidad geomecánica en comparación con las rocas anteriormente calificadas y también de menor competencia en el caso de fallamientos y fracturamientos muy estrechamente espaciados.

Las brechas tobíferas y tobas cenicientas grises rojizas, las cuales son muy nítidas en varios sectores del costado oriental o derecho del futuro embalse y no parecen tener relevancia al otro costado, componen los materiales de menor calidad geomecánica entre las rocas estratificadas de la Unidad KVS. Tienen mucho material arcillizado de coloración conspicuamente rojiza, son de escasa competencia en sectores de fallamiento y tienden a mostrar alternaciones repetidas, en bancos delgados, de tobas cenicientas de deficiente a mala calidad geomecánica.

(b) Rocas intrusivas

Son de composición granodiorítica a diorítica y de ocurrencia en macizos pequeños, como también aislados, en el área cubierta por el Plano 1 de Anexos. No serían comprometidos con las aducciones y sitios de una eventual central de cola en el costado derecho u oriental del vaso del futuro embalse; pero quedarían involucrados por algunos tramos de la conducción del otro costado y particularmente por los dos sitios que, en este costado, pueden considerarse atractivos para emplazamientos de las correspondientes zonas de caídas y casas de máquinas.

Estas rocas son de grano medio a fino, están frecuentemente algo metamorfoseadas o silicificadas, se aprecian macizas y muy duras al igual que resistentes, y pueden suponerse con buenas a muy buenas propiedades geomecánicas aunque, a semejanza del conjunto de las rocas estratificadas a las cuales intruyen, están afectadas por un denso patrón de fracturamientos.

(c) Rocas mineralizadas

En la región investigada con el presente informe, existen numerosos yacimientos de minerales metálicos, principalmente cupríferos, algunos de los cuales mantienen desde largo tiempo faenas extractivas importantes y cuales son,en especial, la de la Mina Diablo o Cerro Negro al interior de la Quebrada Pitipeumo y las de Mina El Cerrado al interior del Valle del Estero Guayacán.

Se destaca lo anterior para establecer que en el costado oriental o derecho del vaso del futuro embalse y sobre terrenos que pue

den ser comprometidos por las conducciones de las centrales de cola que preocupan, se reconocieron varios picados o cateos mineros los cuales, probablemente, estarían protegidos por pertenencias y derechos mineros vigentes; mientras en el costado izquierdo u occidental, los cateos o picados de referencia parecen no existir en los terrenos que podrían comprometer las alternativas de centrales de cola pertinentes. Por otra parte interesa señalar el hecho de que, corrientemente, las mineralizaciones cupríferas de referencia se asocian con una fuerte probabilidad de fallamientos e intensa alteración de las rocas locales.

## 4.2 Sedimentos de cobertura de las rocas fundamentales

Son esencialmente cuaternarios y están representados por los materiales de las unidades siguientes :

Unidad Qo : Rocas sueltas o escombreras de 0 a 5 m de espesor.
Unidad Qfr : Depósitos fluvioaluvionales recientes.
Unidad Qfa : Depósitos fluvioaluvionales de terrazas.
Unidad Qe : Escombreras y conos de deyección de quebradas laterales.

Con excepción de la denominada Qo, las diversas unidades recién mencionadas aparecen sectorizadas sobre el Plano 1 de Anexos para lo concerniente al desarrollo y distribución que tienen sus exposiciones de superficie las cuales, por lo demás, fueron ya examinadas parcialmente en la sección 3.2 del presente informe. La Unidad Qo sobreyace directamente a las rocas fundamentales situadas en o muy cerca de la superficie, de los sectores KVS y KTg del Plano 1 de Anexos, de modo que ella se indica solamente en los perfiles de interpretación geológica de la Figura 1 de Anexos.

En lo que sigue a continuación se establecen, respecto de lo que interesa a los objetivos del actual informe, las características geológicas y geotécnicas de las unidades de sedimentos de cobertura que se distinguen en la zona investigada :

(a) Unidad Qo

Son de distribución muy irregular, sobre los sectores KVS y KTg del Plano 1 de Anexos, de manera que frecuentemente están totalmente ausentes y dichos sectores muestran la roca in situ a la vista. Tienen mayor desarrollo relativo en el costado oriental del vaso del futuro embalse y allí pueden estimarse con potencia media de 2 m y máxima de 6 m; en el costado occidental del vaso del futuro embalse alcanzan habitualmente menor espesor y presentarían potencia media de 0,80 m con máxima de 3 m.

En sus condiciones naturales actuales, los materiales de la Unidad Qo se aprecian estables y sin propensión a fenómenos de remoción en masa perjudiciales; pero están normalmente sueltos y no resultarán convenientes como pisos de fundación de las conducciones en canal y las tuberías forzadas que requerirán los desarrollos hidroeléctricos investigados, de modo que si se encuentran en los terrenos comprometidos por dichas obras será necesario removerlos hasta alcanzar la roca in situ. Sin perjuicio, lo anterior, del hecho que serán aceptables como paredes de canales revestidos con hormigón cuando el piso de los mismos canales quede fundado directamente encima de las rocas fundamentales.

Dado que en el costado occidental la Unidad Qo está a menudo ausente o bien muestra espesores inferiores a 3 m, los desarrollos hidroeléctricos en este costado deben estimarse a priori más convenientes que en el lado oriental del vaso del futuro embalse.

(b) Unidad Qfr

Ocupa los pisos de los cauces actuales y las zonas que pueden ser inundadas con las crecidas grandes de los mismos cauces; tiene espesores de 15 a 20 m en los fondos de los valles principales, cuales son los correspondientes a los esteros Los Angeles y Guayacán y a la Quebrada Pitipeumo, pero carece de relevancia en las restantes quebradas de la región investigada que pueden ser comprometidas por los desarrollos hidroeléctricos que interesan.

En los valles principales de referencia consiste de sedimentos fluvioaluvionales sueltos, del Holoceno o Cuaternario Reciente, caracterizados por mezclas muy diversas de gravas arenosas que en su conjunto tienen escaso contenido de finos limo arcillosos, presentan abundantes bolones diseminados, presentan permeabilidades altas a muy altas y contienen aguas subterráneas de escurrimiento libre. Incluye materiales acumulados especialmente por arrastres fluviales de tipo turbulento o torrencial y que en partes han correspondido a flujos densos con características de corrientes de barro; sin embargo esas acumulaciones equivalentes a corrientes de barro fueron posteriormente trabajadas por acción fluvial y por esta razón son relativamente limpias y bastante permeables.

Los materiales de la Unidad Qfr se aprecian muy sueltos en sus primeros 2 m desde la superficie y en dicho espesor deben considerarse potencialmente propensos a experimentar desplazamientos con ocasión de las grandes crecidas que suelen producirse, en los cauces principales locales, para períodos de retorno de 10 o poco más años. De acuerdo con esta condición, los eventuales cruces de conducciones a través de los materiales Qfr deberán considerarse probablemente enterrados y mediante tuberías ancladas a no menos de 2 m de hondura.

Los depósitos de la Unidad Qfr constituyen, en la zona investigada, las fuentes más convenientes para el suministro de los áridos que requerirían las concretaduras asociadas a las obras de los proyectos hidroeléctricos que preocupan; en especial por el escaso contenido de finos limo arcillosos de estos materiales, la facilidad y economía de sus explotaciones, y las buenas propiedades geomecánicas que manifiestan a simple vista. Sin embargo una parte de los clastos de los sedimentos de referencia, con inclusión de las fracciones gruesas y finas, contiene componentes potencialmente reactivos y correspondientes en especial a cherts silíceos y fragmentos de andesitas con inclusiones de calcedonia; de acuerdo con esto será necesario utilizar, en los hormigones de las futuras obras, cementos reconocidamente bajos en álcalis libres y sin riesgos de provocar reacciones con áridos potencialmente reactivos.

(c) Unidad Qfa

Está definida por depósitos fluvioaluvionales antiguos, aunque siempre cuaternarios, acumulados por antecesores de los cauces principales actuales y ahora expuestos como remanentes de terrazas, en partes bien conservadas y en otros casos destruídas por erosión o bien enmascaradas por cubiertas de escombreras y de conos de deyección de quebradas laterales, cuyos coronamientos emergean hasta unos 15 a 20 m por encima del piso de los cauces actuales que contienen a la Unidad Qfr antes descrita.

Los materiales de la Unidad Qfa fueron acumulados principalmente como corrientes de barro y consisten de mezclas muy diversas de gravas, arenas, limos y arcillas; en un conjunto habitualmente siempre con altos contenidos de finos limo arcillosos y frecuentemente interestratificado con materiales propios de la Unidad Qe, de escombreras y conos de deyección de quebradas laterales, los cuales avanzan hacia los fondos de los valles actuales desde los costados montañosos que enmarcan estos valles.

En sus primeros 10 m desde la superficie, la Unidad Qfa es relativamente poco compacta y de permeabilidad media; mientras, a mayor hondura, se presentará gradualmente muy compacta y con calidad de cuasi conglomerado de permeabilidad baja.

Las exposiciones de superficie que muestra la Unidad Qfa tienen continuidad, en hondura, por debajo de los depósitos recientes de la Unidad Qfr; de modo que la potencia del conjunto Qfa es importante y con espesores máximos efectivos realmente extraordinarios según lo ha documentado un sondaje exploratorio,perforado para el reconocimiento del sitio de la presa del futuro Embalse Los Angeles, el cual se profundizó más o menos 170 m antes de penetrar el basamento rocoso. Esto implica que en la zona de los desarrollos hidroeléctricos que preocupan, la Unidad Qfa tendría espesores máximos no menores que 100 m verticales.

Los terrenos aterrazados según los cuales queda expuesta la Unidad Qfa, son muy estables y a pequeña hondura presentarán capacidades de soporte suficientes para el emplazamiento de instalaciones de envergadura importante. Por otra parte los materiales de la misma unidad, siempre con elevado contenido de finos limo arcillosos, deben considerarse deficientes como posibles yacimientos de áridos de hormigones; sin perjuicio de que constituyen, potencialmente, depósitos apropiados para la construcción de terraplenes y de núcleos impermeables.

(d) Unidad Qe

Sus exposiciones de superficie ocurren en los costados de los valles y quebradas que cobijan a los cauces actuales y topográficamente por encima de las unidades Qfa y Qfr antes descritas.

Consiste de mezclas muy heterogéneas de piedras de todos tamaños, con predominio de clastos angulosos a subredondeados, en una matriz fina de arenas - limos - arcillas que es corrientemente predominante. Incluye materiales de escombreras de faldeos de cerros y de conos de deyección de quebradas laterales, dispuestos como planos inclinados suaves que avanzan hacia los fondos de los cauces actuales; en los ápices de estos planos inclinados o niveles topográficamente más altos, la Unidad Qe tiende a mostrar predominio de piedras, con clastos o bloques firmes de hasta 1,2 m de diámetro y porcentajes de finos limo arcillosos de 5 a 20 % en volumen; mientras, al pie o parte terminal de los mismos planos inclinados, el contenido de finos limo arcillosos es normalmente no menor que 25 % y puede alcanzar hasta un 60 % del total del depósito.

La Unidad Qe es relativamente suelta y de permeabilidad mediana hasta alta en los primeros 5 m desde la superficie, particularmente en los sectores topográficamente más altos o de más ladera arriba y donde es potencialmente muy elevado el riesgo de desplazamientos, por fenómenos de remoción en masa, de los materiales correspondientes. Es por otra parte mucho más compacta y trabada a mayor hondura, donde presentará permeabilidad mediana a baja, resultando allí bastante estable o poco propicia para desarrollar desplazamientos por fenómenos de remoción en masa; esto especialmente en la parte terminal o pie de la Unidad Qe y cuyos terrenos pueden considerarse estables a contar de unos 2 m desde la superficie.

## 4.3 Riesgos de fenómenos de remoción en masa

Estos riesgos tienen una posibilidad de ocurrencia remota a nula en los materiales de rocas fundamentales sectorizados KVS y KTg sobre el Plano 1 de Anexos; sin perjuicio de que localmente y con distribución muy irregular, partes de los sectores KVS y KTg presentan cubiertas muy delgadas, de rocas sueltas y escombreras, propensas a desplazamientos si son sometidas a cargas de alguna importancia.

Las cubiertas delgadas de referencia quedan indicadas en los perfiles de Figura 1 de Anexos y corresponden a los materiales descritos como Unidad Qo en la sección 4.2 anterior de este texto. Son más comunes y potentes en los terrenos rocosos del costado oriental del vaso del futuro embalse, donde alcanzarían potencias máximas de hasta unos 6 m con medias de 2 m; y son menos frecuentes, como asimismo más delgadas, en el costado occidental del citado vaso donde tendrían potencias máximas de hasta unos 3 m con medias de 0,80 m.

Con relación a lo recién expuesto resulta más favorable, para lo concerniente al emplazamiento de los desarrollos hidroeléctricos de cola que preocupan, el costado occidental del vaso del futuro embalse.

Los riesgos de remociones en masa de las restantes unidades geológicas distinguidas con este informe son potencialmente altos según lo siguiente :

La Unidad Qfr de sedimentos fluvioaluvionales recientes puede experimentar desplazamientos, en los primeros 2 m desde la superficie de los depósitos correspondientes, con ocasión de crecidas grandes de los cauces principales locales y tales las que pueden producirse para períodos de retorno de 10 años. Pero a mayor hondura, esta unidad será estable o con escaso riesgo de sufrir desplazamientos.

La Unidad Qfa de sedimentos fluvioaluvionales de terrazas puede estimarse muy estable y con escaso a remoto riesgo de sufrir remociones en masa perjudiciales; especialmente a contar de 1 a 2 m desde la superficie y en terrenos no contiguos a los barrancos que suelen empalmar las unidades Qfa y Qfr.

La Unidad Qe es la que ofrece mayor riesgo de remociones en masa perjudiciales y de hecho varios sectores que contienen a los materiales correspondientes se aprecian inestables y sometidos a flujos muy lentos, hacia ladera abajo, del tipo de reptaciones o corrimientos gravitacionales. Estos desplazamientos potenciales pueden afectar los primeros 5 m desde la superficie de los depósitos topográficamente más altos de la Unidad Qe y un espesor menor, desde la superficie, de los depósitos situados en la parte terminal o pie de la misma unidad. Por otra parte y conforme al desarrollo y distribución areal que tienen los materiales

sectorizados Qe sobre el Plano 1 de Anexos, resulta claro que una conducción por canal presentará menores problemas en el costado occidental del vaso del futuro embalse.

# 5. TECTONICA Y SISMICIDAD

## 5.1 Tectónica

La zona investigada se encuentra al interior de una región claramente afectada por una tectónica fuerte y que ha sido documentada por el reconocimiento de fallamientos muy notables (*), de rumbos próximos a Norte-Sur y empinamientos casi verticales, situados al Este de la zona de inundación del futuro Embalse Los Angeles. Al igual que han sido observados, los fallamientos frecuentes de la zona, en las labores mineras locales cuales las de los establecimientos cupríferos de Cerro Negro al interior de la Quebrada Pitipeumo y de El Cerrado en el interior del Valle del Estero Guayacán.

Los fallamientos que se comentan son antiguos en la opinión del presente informe e inactivos, a lo menos desde fines del Terciario Superior, en razón de que no se aprecian rasgos geomorfológicos imputables a movimientos tectónicos en los sedimentos cuaternarios tanto locales como regionales. De forma que puede estimarse un riesgo muy remoto de activamientos, de los citados fallamientos, a lo menos durante todo el lapso que puedan mantenerse en operación el futuro embalse y sus eventuales centrales hidroeléctricas asociadas.

Interesa agregar que los fallamientos probables de mayor envergadura, en los terrenos que comprometerían las posibilidades hidroeléctricas investigadas, tendrían espesores no superiores a 2 m de rocas tectonizadas o alteradas y se presentarían bastante espaciados; de manera que estos fallamientos, los cuales serían inactivos, no constituirán problemas serios para los desarrollos hidroeléctricos que preocupan. Sin perjuicio de lo anterior aparecen indicadas, en el Plano 1 de Anexos, las trazas de fallamientos posibles que ocurrirían en o cerca de los sitios considerados atractivos para el emplazamiento de las zonas de caídas y de las casas de máquinas de las centrales hidroeléctricas que ahora se examinan.

Los fallamientos posibles cuyas trazas se indican sobre el Plano 1 de Anexos, aparentan ser de no mucha envergadura en lo concerniente a sus implicaciones en las alternativas de Central de Pie de Presa y de Centrales de Cola del costado occidental del vaso del futuro embalse; pero pueden estimarse potencialmente más serios en las cercanías de la alternativa de Central de Cola del costado oriental del vaso del futuro embalse y donde, además, las rocas fundamentales locales corresponden, en

(*) CARTER D.W. y AGUIRRE L. 6.1965
Structural Geology of Aconcagua Province and Its Relationship to the Central Graben. Chile.
Geological Society of America Bulletin. Vol 76;
pgs 651 - 664.

parte importante, a brechas tobíferas y tobas cenicientas de menor calidad geotécnica que los restantes tipos de rocas estratificadas de la Unidad KVS sectorizada por el Plano 1 de Anexos.

Importa destacar que todas las rocas fundamentales de la zona cubierta por el Plano 1 de Anexos están afectadas por un denso patrón de fracturamiento y que estas fracturas, en su mayoría como planos del tipo diaclasas, son estrechamente espaciadas y muy repetidas en los materiales de la Unidad KVS y más distantes unas de otras, como también más regulares, en las rocas intrusivas de la Unidad KTg.

El patrón de fracturamientos regionales es tal que, para el conjunto de las rocas fundamentales locales, aparecen permeabilidades medianas hasta altas en los primeros 15 a 25 m desde la superficie de los afloramientos rocosos correspondientes; mientras, a mayor hondura, las fracturas algo abiertas en superficie tienden a sellarse por soldamiento y los macisos rocosos pueden estimarse allí de escasa permeabilidad hasta prácticamente impermeables. Por otra parte, cabe agregar que los sistemas de fracturamientos que se comentan producen una tendencia a fragmentaciones en trozos menudos de las brechas tobíferas y tobas cenicientas rojizas de la Unidad KVS, a fragmentaciones en bloques chicos de los restantes tipos de rocas de la misma unidad, y a fragmentaciones en bloques chicos y grandes de las rocas intrusivas de la Unidad KTg.

## 5.2 Sismicidad y riesgos sismicos

La región en la cual se encuentran los terrenos que interesan es de reconocida alta frecuencia sísmica y tiene una historia jalonada por terremotos violentos ocurridos desde la Epoca Colonial al presente.

Los terremotos de referencia se han originado tradicionalmente según focos continentales situados en la zona de Ligua - Petorca y asimismo en focos submarinos ubicados frente a las costas del Litoral Central. Los primeros han provocado fenómenos de magnitudes 6,5 a 7,5 conforme a la Escala Richter, con profundidades focales de 50 a 70 km y períodos de retorno de 10 a 15 años; mientras, los focos activos submarinos, son responsables de terremotos de magnitudes 8 a 8,5 que se manifiestan con períodos de retorno de unos 50 años los menos violentos y de unos 100 años los de magnitud 8,5 o poco superior.

Tanto los sismos continentales como submarinos recién reseñados inducirían intensidades fuertes en los terrenos que ahora interesan y con rangos de 8 a 9 según la Escala Mercalli Modificada de 12 grados; pero los más perjudiciales, para eventuales obras importantes en dichos terrenos, corresponderían a los que tendrían origen en el continente y alcancen magnitud 7,5.

Se desprende de lo anterior que cualquier obra de envergadura en la zona aquí investigada, debe ser diseñada considerando riesgos sísmicos muy altos; y en este aspecto pueden considerarse válidos, como también útiles, los antecedentes que proporciona, en su parte pertinente, el estudio de factibilidad Física del Proyecto Embalse Los Angeles que cita la sección 2.3.2 del presente informe.

## 6. CONSIDERACIONES HIDROGEOLOGICAS

Los macizos rocosos KVS y KTg del Plano 1 de Anexos pueden presentar acuíferos potenciales, en sus primeros 15 a 25 m desde la superficie de los correspondientes afloramientos, radicados en fracturas y cuyos recursos de aguas subterráneas, bajo las condiciones naturales actuales, son muy modestos y prácticamente inexistentes en la práctica. Sin embargo estos mismos acuíferos aceptarían infiltraciones importantes si quedan cubiertos por aguas permanentes y de manera que, por esta única razón, cualquier tramo de conducción por canal que cruce a través de las rocas fundamentales locales deberá presupuestarse con revestimientos de impermeabilización.

Los sedimentos de cobertura de las rocas fundamentales presentan muy buenas cualidades como acuíferos en la Unidad Qfr y bastante pobres en las unidades restantes; especialmente, para el caso de éstas, a contar de 5 a 10 m desde la superficie.

En lo que concierne a la Unidad Qfr, convendrá suponer que la puesta en operación del futuro embalse elevará la posición del nivel de aguas subterráneas existente ahora hacia aguas arriba y que éste, en los sitios cercanos a las alternativas de centrales hidroeléctricas de cola, tenderá a disponerse casi en la misma superficie de terrenos sectorizados Qfr sobre el Plano 1 de Anexos.

Los materiales Qe y Qfa que pueden ser comprometidos con aducciones por canales tienen, pese a sus pequeños a casi inexistentes recursos de aguas subterráneas actuales, una permeabilidad suficiente para que produzcan infiltraciones de cierta importancia a través de ellos; de manera que también, por esta única razón, cualquier tramo de conducción en canal a través de las unidades Qe y Qfa deberá presupuestarse con revestimiento de impermeabilización.

# 7. EVALUACION GEOTECNICA DE LAS ALTERNATIVAS HIDROELECTRICAS

## 7.1 Alternativas de centrales de cola

Son potencialmente atractivas las posibilidades que corresponden, en el costado occidental o izquierdo del vaso del futuro embalse, a los sitios de eventuales centrales identificados por los perfiles AA' y BB' del Plano 1 y Figura 1 de Anexos; como también la posibilidad, en el otro costado, asociada al sitio del perfil de referencia CC'.

En opinión del presente informe puede descartarse desde ahora y estimarse no recomendable, la solución de una central de cola en el costado oriental o derecho del vaso del futuro embalse; esto por las razones principales siguientes :

(i) Exige una conducción por canal de más o menos 8,5 km de recorrido y con varios tramos largos que deberán cruzar materiales potencialmente inestables a muy inestables de la Unidad Qe; especialmente de km 1,0 a km 3,0 y de km 7,0 a km 8,3.

(ii) Entre las rocas fundamentales de los terrenos del costado oriental del vaso del futuro embalse son comunes, particularmente en el sitio que sería propicio para ubicar una zona de caída y de casa de máquinas, brechas tobíferas y tobas cenicientas rojizas que caracterizan a las de inferior calidad geotécnica entre los diversos tipos de rocas que ocurren en la zona del presente estudio. Además en dicho sitio propicio, como también en sus inmediaciones, se detectan fallamientos que pueden ser de envergadura importante y responsables de una todavía mayor deficiencia de la calidad de las rocas locales.

(iii) Los sectores con rocas fundamentales del área que se examina pueden mostrar, en forma frecuente, cubiertas de rocas sueltas y de escombreras que se indican Qo en los perfiles de Figura 1 de Anexos y los cuales, de deficiente calidad como pisos de fundación de obras, alcanzarían potencias máximas de unos 6 m y medias de más o menos 2 m.

Según asimismo la opinión del actual informe, la alternativa de una central de cola desarrollada por el costado izquierdo u occidental del vaso del futuro embalse se aprecia muy atractiva y claramente más conveniente que cualquiera posible al otro costado; todavía más, están disponibles dos sitios muy convenientes para los emplazamientos de sendas posibilidades de zonas de caídas y de casas de máquinas que co -

rresponden a los perfiles AA' y BB' de Figura 1 de Anexos (*). Estas alternativas de centrales de cola en el lado occidental son particular - mente recomendables por las razones principales siguientes :

(i) Requieren una conducción por canal con menor recorrido e inferior longitud de tramos sobre terrenos inestables de la Unidad Qe.

(ii) Los sitios adecuados para zonas de caídas y de casas de máquinas contienen rocas intrusivas de buena a muy buena calidad geotécnica con relación a las obras que interesan; además las coberturas de rocas sueltas y escombreras, en los sectores de rocas fundamentales KTg y KVS del Plano 1 de Anexos, son más delgadas y menos frecuentes que en el costado oriental.

(iii) No se aprecian, en los sitios de emplazamiento de estas eventuales centrales, fallamientos de envergadura importante.

(*) Ambos sitios con similares condiciones geológicas y geotécnicas; pero con posibles ventajas para el diseño, del proyecto final pertinente, en la posibilidad BB' que exige un mayor recorrido de canal (6,3 km) que la solución AA' (5,7 km).

## 7.2 Alternativa de Central de Pie de Presa

Debe ubicarse en uno de los apoyos del muro del futuro embalse, tanto para no perturbar la estructura misma de dicho muro como para evitar un trazado de aducciones y de casa de máquinas que resultaría únicamente en materiales de cobertura del basamento rocoso. Debe ubicarse específicamente en el apoyo derecho u oriental por el hecho de existir allí un macizo topográficamente favorable el cual, además, consiste de rocas de la Formación Abanico que son allí duras, resistentes y de aceptable a buena calidad geotécnica para las fundaciones y excavaciones subterráneas que requeriría el desarrollo hidroeléctrico que preocupa.

En el apoyo derecho de referencia se presentan dos soluciones atractivas de Central de Pie de Presa y que son las reseñadas en la pg 7 de este texto; una según el trazado del Perfil DD' de Figura 1 y otra de acuerdo al Perfil EE' de la Figura 2 de Anexos.

La solución de Perfil DD' presenta en todo su recorrido rocas de aceptable a buena calidad geotécnica y considera utilizar, para la alimentación de la eventual Central de Pie de Presa, solamente las aguas disponibles en el tercio superior de la futura presa. Supone una toma independiente y considerablemente más alta que la diseñada para la entrega de las aguas destinadas a riegos, a la vez que contempla una aducción asimismo independiente : con un tramo de galería de baja presión, en su conducción de aguas arriba, más un tramo de tuberías forzadas que iría al exterior y después de la Chimenea de Equilibrio y la Casa de Válvulas que se ubicarían, tal cual lo señala el Perfil DD', al final de la galería ya mencionada aunque en el exterior y sobre un corte del macizo rocoso local.

La otra solución se ubica según la planta de Figura 2 y cabe analizarla, para lo concerniente a su factibilidad geotécnica, solamente en lo correspondiente a su tramo de más aguas abajo y cual lo indicado con el Perfil EE' de Figura 3 de Anexos; esto en razón de que su obra de toma y su aducción de aguas arriba es común con lo diseñado, a base de exploraciones detalladas, por el estudio de factibilidad física del Proyecto de Embalse Los Angeles. Además y casi en toda su extensión hasta poco antes de entregar a la correspondiente casa de máquinas al exterior, el túnel blindado que contempla esta solución cruza rocas de buena calidad geotécnica y que no tendrán problemas por el sólo hecho de quedar blindadas.

La solución del Perfil EE' tendría potencialmente problemas en la ubicación indicada para la casa de máquinas por cuanto, allí, ocurrirían sedimentos de cobertura potentes con nivel de aguas subterráneas a muy poca hondura durante la temporada de lluvias. Aqui esos sedimentos mostrarían aceptable capacidad de soporte a contar de unos 3 a 5 m desde la superficie; pero el problema principal radicaría en el hecho de que el contacto con el basamento rocoso sería abrupto, tal cual lo señala el perfil de la Figura 3 de Anexos, lo que podría inducir un deficiente comportamiento del lugar con ocasión de terremotos violentos. Por esta razón y supuesto que la solución se considere para un proyecto final o de ejecución, será recomendable desplazar la casa de máquinas hacia cerro adentro y emplazarla totalmente en roca mediante el corte bosquejado en el perfil de la referencia.

## 7.3 Comentarios relativos a tuberías forzadas y casas de máquinas

Con la excepción de la solución del Perfil EE' de Figura 2-3 de Anexos, las diversas alternativas de centrales hidroeléctricas investigadas deberían diseñarse con tuberías forzadas al exterior y que convendría disponerse con anclajes, a no más de 100 m uno de otro, fundados en el basamento rocoso que en general se encontrará en la misma superficie o antes de unos 3 m de hondura y resultará estable y de muy buena capacidad de soporte. Estas mismas tuberías forzadas al exterior deberían tener apoyos, asimismo fundados en el basamento rocoso, cada 8 a 12 m uno del otro.

Respecto de las eventuales casas de máquinas de todas las alternativas examinadas, es opinión del actual informe que resultará recomentable situarlas en el exterior; pero sobre plataformas cortadas hasta el basamento rocoso y tal cual se indica con los perfiles de las figuras 1-3 de Anexos.

## 7.4 Programa de exploraciones complementarias

Para lograr el conocimiento geológico y geotécnico que exigirá la confección de los proyectos finales de los desarrollos hidroeléctri - cos examinados con el presente informe, se sugiere efectuar el programa de exploraciones complementarias indicado a continuación :

En las alternativas de centrales de cola del lado occidental :

(a) Confección de un plano topográfico confiable, con escala de no menor detalle que el provisto por una escala 1:1.000 con equidistancia curvas de nivel 1 m, para una faja de 200 m de ancho que deje en su centro el trazado indicado por Plano 1 de Anexos.

(b) Construcción de una senda de penetración, mediante únicamente la remoción acuciosa de las cubiertas de vegetación, a lo largo del trazado del canal señalado por el Plano 1 de Anexos y con ancho de unos 6 m o equivalente a unas 2 veces la base del futuro canal.

(c) Estacado topográfico, cada 25 m, de la senda de penetración anterior y según el eje del futuro canal que estaría aproximadamente al centro de dicha senda.

(d) Excavación de calicatas de reconocimiento, con hondura de 3 m si no penetran el basamento rocoso y con alcance hasta dicho basamento si lo penetran antes, cada 250 m a lo largo de la senda de penetración.

(e) Reconocimiento geológico de superficie, con inclusión del registro de las calicatas anteriores, de la faja correspondiente al punto (a) de este programa.

(f) Confección de sendas fajas de penetración, con únicamente remoción cuidadosa de la cubierta vegetacional, en los sitios de caídas de los perfiles AA' y BB' de Plano 1 y Figura 1 de Anexos; con inclusión, en ambos casos, de la remoción de la vegetación en los sitios de eventuales casas de máquinas.

(g) Excavación de calicatas de reconocimiento, con hondura de 3 m si no penetran el basamento rocoso y con alcance sólo hasta dicho basamento si lo penetran, cada 25 m en el trayecto desde el canal de conducción hasta el sitio de casa de máquinas de los perfiles de referencia AA' y BB'.

(h) Reconocimiento geológico de superficie, con inclusión del registro de las calicatas anteriores, de los sectores de los perfiles AA' y BB'; con apoyo en un estacado topográfico cada

25 m y vaciamiento, de la información obtenida, a un plano topográfico confiable con no menor detalle que el provisto por una escala 1:500 con equidistancia curvas de nivel 0,50 m.

(i) Reconocimiento geofísico de subsuperficie, mediante sísmica de refracción, según presupuesto para 2.000 m de perfiles que tendrán longitudes no superiores a 200 m y se ubicarán conforme a los resultados de los anteriores puntos del programa.

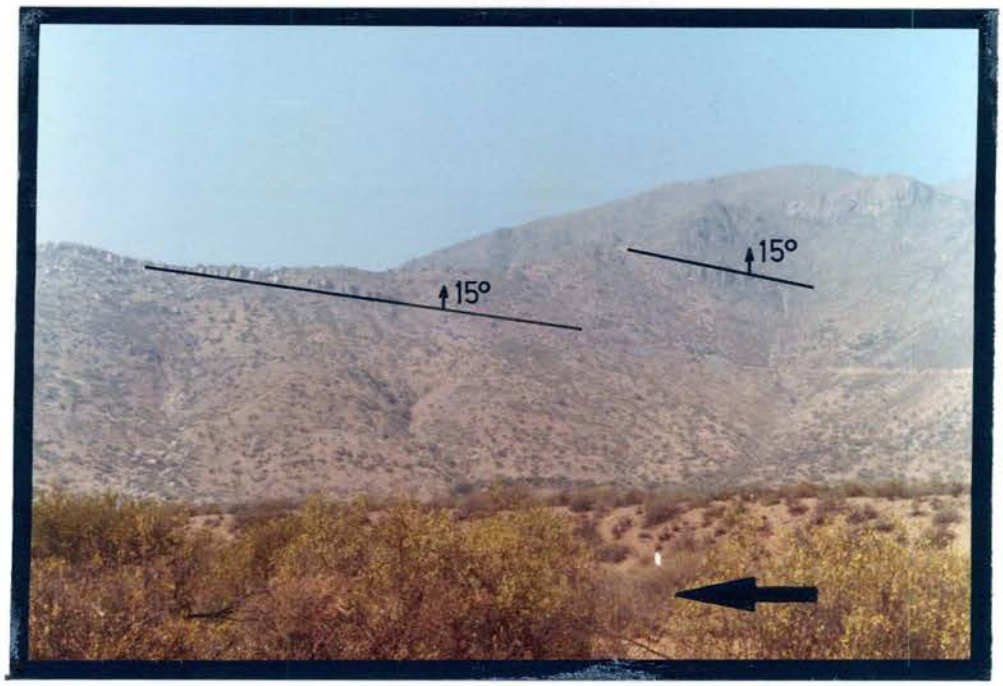
En las alternativas de centrales de pie de presa :

(a) Reconocimiento geológico de superficie detallado y con vaciamiento de la información obtenida a un plano topográfico confiable, de no menor detalle que el provisto por una escala 1:500 y con equidistancia curvas de nivel 1 m, de una faja que cubre el conjunto de ambas posibles soluciones y alcance por el poniente todo el ancho del cauce del Estero Los Angeles; mientras, por el oriente, se extendería 100 m desde el eje de la alternativa EE'. Este reconocimiento con apoyo en puntos de controles geológicos que se registrarían topográficamente y tendrían presupuesto para 250 puntos; además con la colaboración de la apertura de sendas de penetración, según fajas de unos 20 m de ancho a lo largo de los ejes de las dos posibles soluciones, construídas únicamente mediante la remoción acuciosa de las cubiertas vegetacionales locales.

(b) Reconocimiento geofísico de superficie, mediante sísmica de refracción y presupuesto para 2.000 m de perfiles, con desarrollo especial en los sectores de eventuales casas de máquinas y orientados a definir allí los contactos de los sedimentos de cobertura y el basamento rocoso.

(c) Excavación de calicatas de reconocimiento, de hasta 10 m de hondura cada una y presupuesto para 50 ml, las cuales tendrán como objetivo reconocer el contacto sedimentos de cobertura-basamento rocoso en el sector de posible casa de máquinas de la solución del Perfil EE' y se ubicarán y especificarán conforme a los resultados de la exploración geofísica previa.

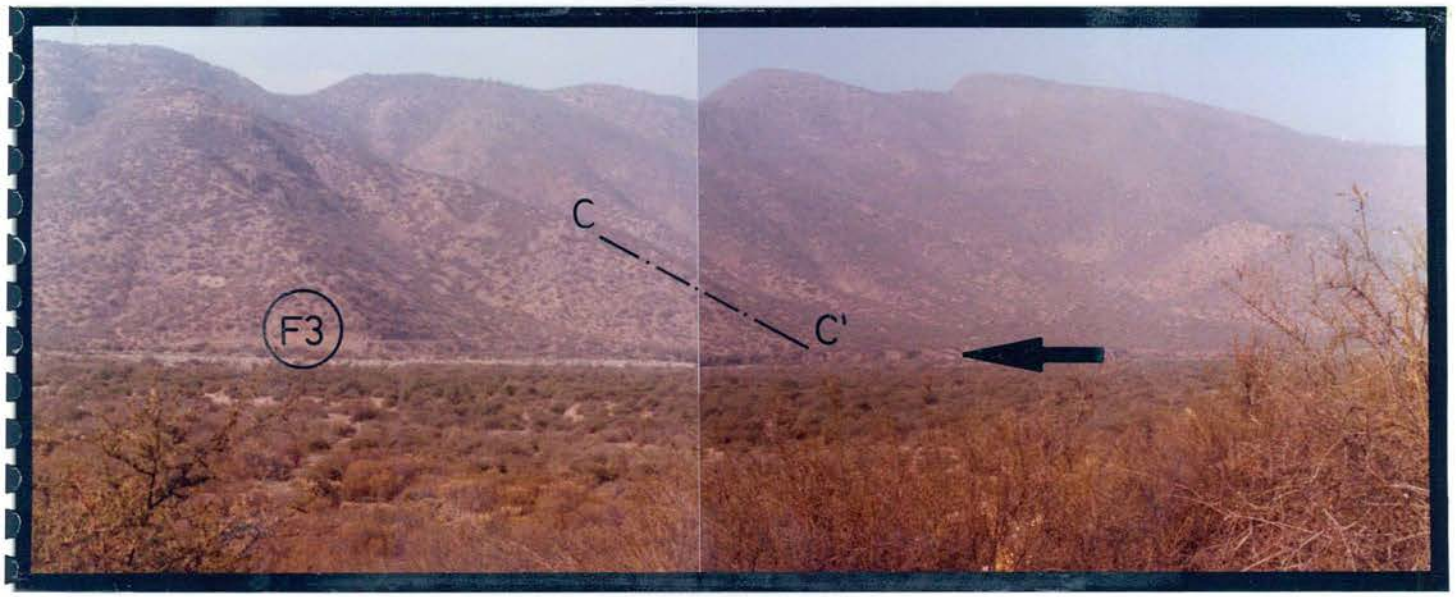
ANEXO ILUSTRACIONES FOTOGRAFICAS




FOTOGRAFIA 1

Costado derecho u oriental del vaso del futuro Embalse Los Angeles, observado desde aguas arriba hacia aguas abajo, en sector del lado Norte del curso inferior de la Quebrada Pitipeumo y aproximadamente en tramo km 4,5 km 5,0 del trazado de canal mostrado en Plano 1 de Anexos.

Nótese,en primer plano, borde de terraza correspondiente a la Unidad Qfa; mientras, los cerros del fondo, permiten apreciar mantos estratiformes de la Formación Abanico KVS que tienen buzamientos suaves y de 10 a 20° hacia el Este.

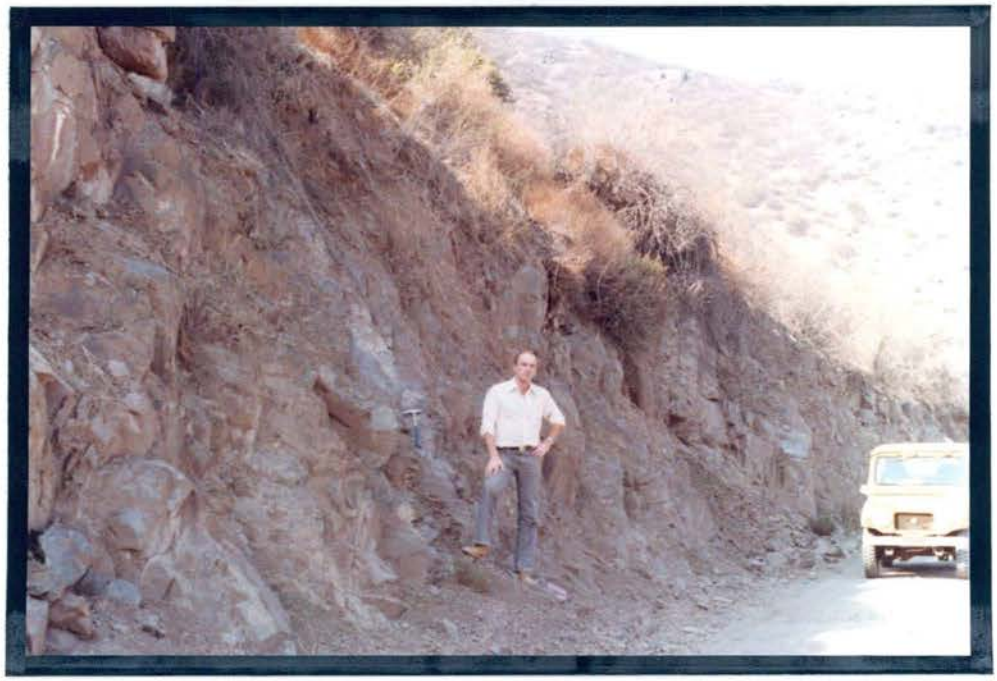



FOTOGRAFIA 2

Costado derecho u oriental del vaso del futuro Embalse Los Angeles, observado desde el lado izquierdo u occidental de dicho vaso, en sector de la alternativa de central hidroeléctrica CC' de Plano 1 y Figura 1 de Anexos.

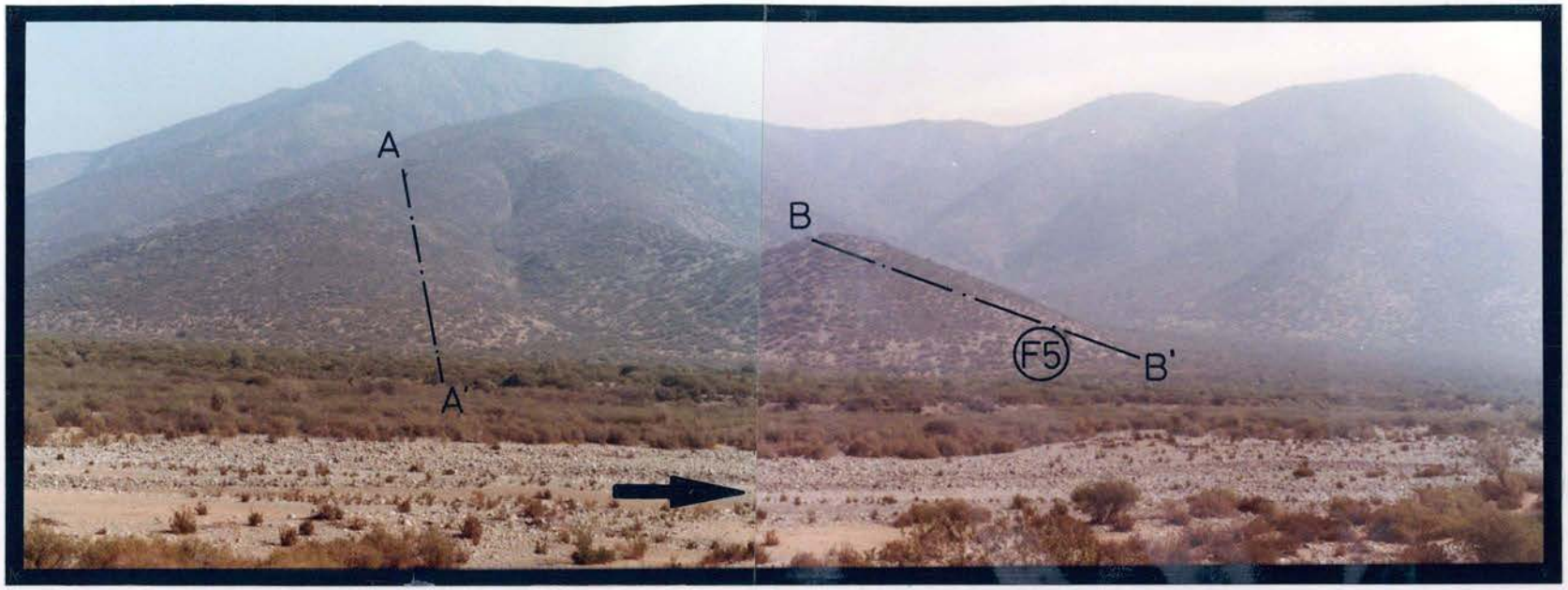
La rinconada apreciada en el lado derecho de la fotografía expone, aproximadamente, el tramo de km 7,0 - km 8,0 del canal que alimentaría la alternativa CC' y el cual contiene materiales bastante inestables de la Unidad Qe.

El sitio de la alternativa CC' contiene localmente brechas tobíferas y tobas cenicientas rojizas, de la Formación Abanico KVS, de deficiente calidad geotécnica. Mientras en la puntilla correspondiente a la Fotografía 3 siguiente, se reconocen brechas verdosas metamorfoseadas, asimismo de la Unidad KVS, las cuales son mucho más duras y resistentes pero presentan, localmente, un fuerte fallamiento y un intenso fracturamiento.



FOTOGRAFIA 3

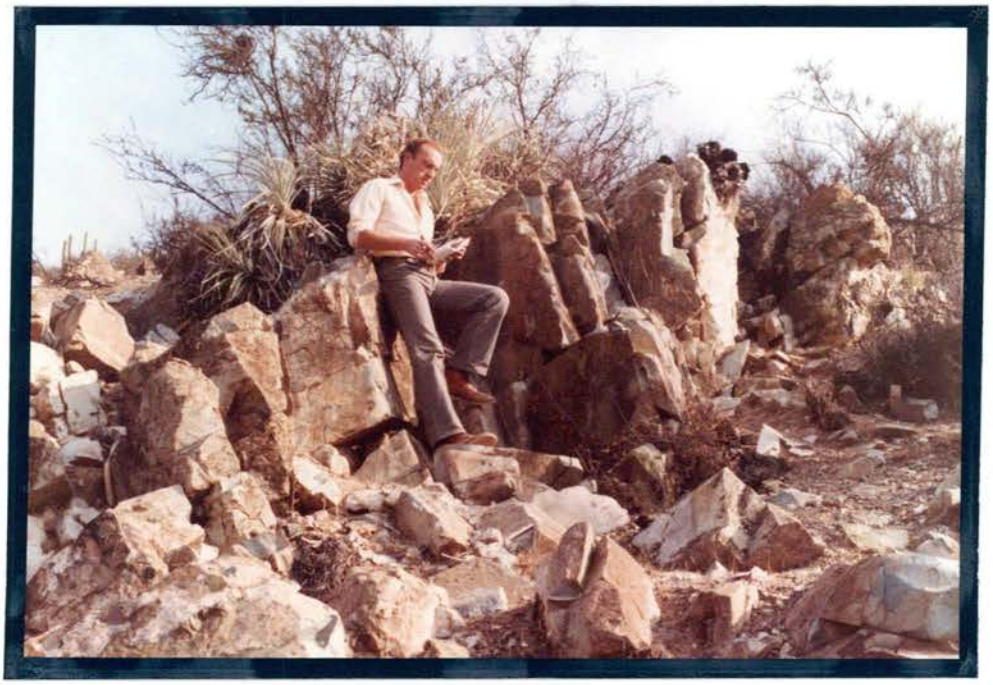
Detalle de puntilla indicada en la Fotografía 2 anterior y que muestra brechas verdosas metamorfoseadas, de la Formación Abanico KVS, duras y resistentes pero localmente afectadas por fuerte fallamiento e intenso fracturamiento.




FOTOGRAFIA 4

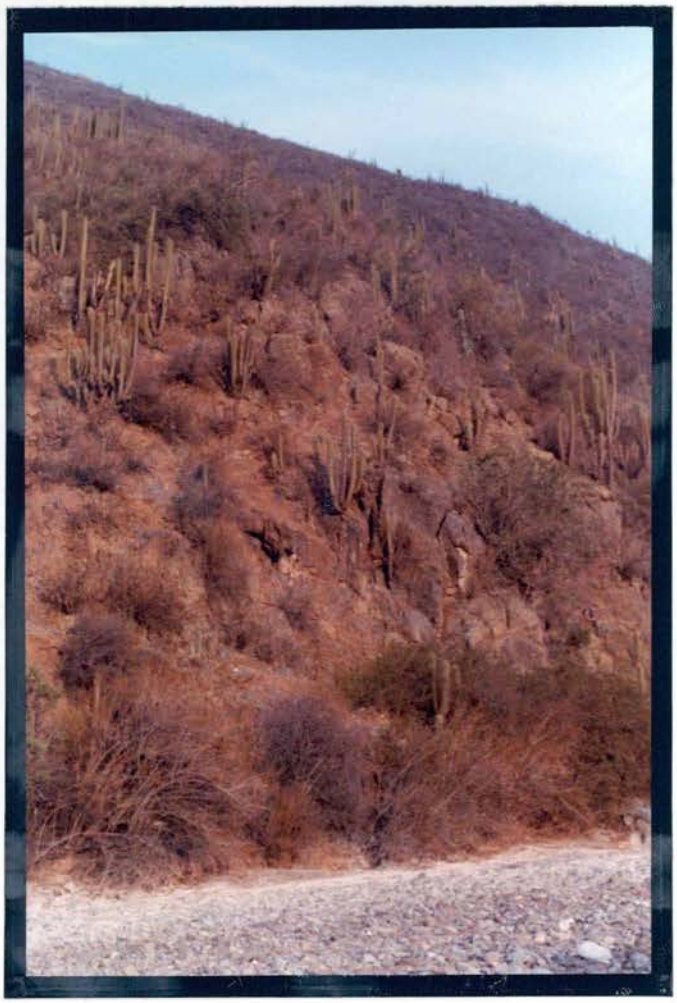
Costado izquierdo u occidental del vaso del futuro Embalse Los Angeles, observado desde el costado derecho u oriental del mismo vaso, en sector correspondiente a las alternativas de centrales hidroeléctricas AA' y BB' de Plano 1 y Figura 1 de Anexos.

Las rocas de los sitios AA'y BB' corresponden a materiales intrusivos, de composición dio-rítica y metamorfoseados, los cuales son mostrados con el detalle de la Fotografía 5 si - guiente.



FOTOGRAFIA 5

Detalle de las rocas dioríticas metamorfoseadas que ocurren en los sitios de las alternativas hidroeléctricas AA' y BB' del costado izquierdo u occidental del vaso del futuro Embalse Los Angeles. Son rocas macizas, muy duras y resistentes aunque bastante fracturadas en sus primeros 15 m desde la superficie.



FOTOGRAFIA 6

Detalle del sector donde sale, al exterior, el túnel diseñado como obra de desviación y asimismo de entrega en el estudio de factibilidad física del Proyecto Embalse Los Angeles. En este mismo sector, el cual contiene lavas andesíticas macizas y resistentes de la Formación Abanico KVS, podría disponerse la eventual Casa de Máquinas de la alternativa hidroeléctrica DD' de Plano 1 y Figura 1 de Anexos.

ANEXO DESCRIPCIONES PETROGRAFICAS

| N° PLANO 1 | TIPO DE ROCA |
|---|---|
| 1 | ANDESITA PORFIRICA |
| 2 | IDEM 5 |
| 3 | META BRECHA VERDOSA |
| 3 B | PORFIDO DE ANFIBOLA |
| 4 A | META BRECHA ROJIZA |
| 4 B | ANDESITA AFANITICA LIMONITIZADA |
| 5 | META BRECHA VERDOSA |
| 6 A | IDEM 6 C |
| 6 B | IDEM 6 C |
| 6 C | META PORFIDO DIORITICO |
| 7 | MICRODIORITA |
| 8 A | ANDESITA PORFIRICA |
| 8 B | IDEM 8 A |

MUESTRA 1 ANDESITA PORFIRICA

DESCRIPCION MACROSCOPICA

Andesita porfírica de color violáceo claro, con fenocristales de color blanco (plagioclasas) y máficos oscuros.

DESCRIPCION MICROSCOPICA

Andesita porfírica de clinopiroxena y de horn - blenda en seudomorfos. La roca presenta marcada textura porfírica con fenocristales idiomorfos de plagioclasa de 0.5 - 3 mm de largo, completamente alterados y reemplazados a minerales de epidota y arcilla, cuarzo y granitos de clorita; su composición actual parece ser An 05 (albitizada) y su composición original o primaria es imposible de definir.

La clinopiroxena corresponde a augita en cristales tabulares de 1 - 2 mm de largo, generalmente formando cúmulos de cristales con abundantes granos de magnetita (parcialmente limonitiza - da) intersticiales. Los cristales de piroxenas son en general muy frescos, excepto un pequeño borde de reemplazo por epidota.

La hornblenda aparece sólo en seudomorfos, de contornos tabulares alargados y en secciones basales características, formados por un agregado de clorita microcriptocristalina, con color anormal de interferencia. En ocasiones se observa un anillo de granos de epidota alrededor de estos seudomorfos.

La muestra presenta abundantes granos de magnetita, generalmente asociados a los minerales ferromagnesianos, con bordes limonitizados.

La masa fundamental es microcristalina y está constituída por abundantes granos y agujas de limonita (?) casi opacas o de color rojo fuerte; microlitos de plagioclasa totalmente reemplazados por minerales de arcilla; granos de epidota y calcita. La muestra presenta guías de calcita-epidota.

MODO APROXIMADO

| | |
|---|---|
| Fenocristales de plagioclasa alterados | 40 % |
| Fenocristales de augita | 10 % |
| Fenocristales de hornblenda reemplazada | 10 % |
| Masa fundamental | 20 % |
| Minerales secundarios | 20 % |

MUESTRA 3 META BRECHA ANDESITICA

DESCRIPCION MACROSCOPICA

Meta brecha andesítica formada por fragmentos de andesitas de color verde inyectados por guías de un material blanco amarillento (calcita-cuarzo secundario).

DESCRIPCION MICROSCOPICA

Meta brecha de textura clástica muy heterogénea; se pueden observar fragmentos de cristales de plagioclasa de más de 2 mm, doblados y arcillizados, fragmentos de 2-6 mm de rocas andesíticas formados por fenocristales de plagioclasas arcillizados en una masa fundamental, vítrea hematítica (?), opaca de color casi negro.

Envolviendo y rodeando estos fragmentos se observa un agregado de clorita criptocristalina de color verde pálido, granos de hematita y abundante clacita microcristalina.

Se pueden distinguir guías anchas (más de 1 mm) y difusas en sus contornos de calcita y cuarzo secundario que reemplaza, a través de fracturas, a los fragmentos incluídos.

Por las características descritas la roca original puede haber sido una andesita o un pórfido andesítico que sufrió fuerte deformación cataclástica generando una brecha y una fuerte alteración hidrotermal de calcita-clorita-cuarzo y minerales de arcilla. Hematita secundaria parece haber sido importante.

MODO APROXIMADO

| | |
|---|---|
| Fragmentos de cristales y rocas | 70 % |
| Minerales secundarios : | 30 % |
| Calcita | |
| Clorita | |
| Cuarzo | |
| Minerales de arcilla | |
| Hematita | |

MUESTRA 3 B PORFIDO DE ANFIBOLA

DESCRIPCION MACROSCOPICA

Pórfido de anfíbola de color gris pardo claro con fenocristales de plagioclasa de color blanco y de anfíbolas negras.

DESCRIPCION MICROSCOPICA

Pórfido dicrítico de anfíbola arcillizado. Roca de textura porfírica con fenocristales de plagioclasa y de anfíbola en una masa fundamental microcristalina. Los fenocristales de plagioclasa son idiomorfos tabulares de 0.5 - 2.5 mm de largo, fuertemente arcillizados y reemplazados por manchas de minerales de arcilla que en parte lo reemplazan totalmente.

Los fenocristales de hornblenda son de hábito tabular y fibroso de 0.7 - 0,2 mm de largo, con maclas laminares simples, y fuerte alteración a clorita micro y criptocristalina. Algunos fenocristales de hornblenda presentan señales de oxidación con limonita diseminada en la periferia. Se observa entrecrecimiento con granos de minerales opacos. Se presenta un cúmulo de cristales de hornblenda de más de 2 mm de diámetro, con reemplazo parcial de algunos de ellos por minerales de alteración (arcillas).

La masa fundamental es microcristalina con textura micrográfica formada por un entrecrecimiento de pequeñísimos cristales de feldespato (menos de 0,02 mm), cuarzo, fibras de minerales arcillosos, granos de clorita, magnetita y escasos de apatita.

Por las características descritas la muestra evidencia haber sufrido una fuerte alteración metasomática con la albitización y arcillización de los feldespatos y de la masa fundamental.

MODO APROXIMADO

| | |
|---|---|
| Fenocristales de plagioclasa albitizados | 50 % |
| Anfíbolas alteradas | 15 % |
| Masa fundamental | 35 % |

MUESTRA 4 A META BRECHA ANDESITICA

DESCRIPCION MACROSCOPICA

Meta brecha andesítica sericitizada de color violáceo rojizo y fragmentos angulares, de más de 3 cm de diámetro, de andesitas grises oscuras.

DESCRIPCION MICROSCOPICA

La sección delgada está formada por un fragmento de andesita y la matriz clástico volcánica de similar composición.

La matriz corresponde a una toba cristalino lítica formada por clastos angulares de 0.5 - 0.8 mm de plagioclasas sericitizadas y arcillizadas, cuya composición corresponde a An 10-8 es decir a albita. La plagioclasa original ha sido albitizada. También se observan fragmentos de andesitas, de texturas hialofíticas, profundamente sericitizadas con regular redondeamiento; fragmentos de minerales opacos, granos de calcita y abundantes guías de calcita que han invadido toda la muestra.

El material cementante de los granos de la matriz es de naturaleza limonítica opaca que envuelve y encierra a todos los granos.

El fragmento lítico que aparece en la sección delgada corresponde a una andesita porfírica de plagioclasa con fenocristales de o.5 mm, idiomorfos u alotriomorfos de plagioclasa, profundamente alterados a sericita y con reemplazo parcial, a través de clivajes, por óxidos de hierro ( o minerales ? ) opacos. Los fenocristales de mayor tamaño también presentan reemplazos por calcita en manchas. La masa fundamental de este fragmento es de color gris-negro, casi opaco, en el cual "flotan" microlitos de plagioclasas parcialmente sericitizados.

MODO APROXIMADO

| | | |
|---|---|---|
| Fragmentos líticos | | 60 % |
| Matriz : | | 40 % |
| Granos líticos | 70 % | |
| Granos de feldespatos | 10 % | |
| Granos de opacos, sericita y calcita | 20 % | |

MUESTRA 4 B ANDESITA AFANITICA

DESCRIPCION MACROSCOPICA

Andesita afanítica limonitizada de color violáceo. La muestra macroscópica presenta guías de "vetas mineralizadas", hierro oligisto y óxidos de cobre.

DESCRIPCION MICROSCOPICA

Andesita microcristalina formada por numerosos y apretados microfenocristales (0.5 - 0.3 mm) y microlitos (menos de o.3 mm) de cristales de plagioclasa de formas idiomorfas con fuerte reemplazo por escamas de sericita y calcita.

Los fenocristales de plagioclasa de mayor tamaño presentan reemplazo por limonita que ha penetrado por los clivajes y fracturas del mineral.

La masa fundamental ha sido totalmente reemplazada por hematita casi opaca que llega a formar verdaderos núcleos de 1- $\overline{2}$ mm de diámetro.

La muestra presenta abundantes manchas de calcita distribuídas principalmente en asociación a las manchas de mayor tamaño de hematita.

Por las características anteriores la muestra corresponde a una andesita (filoniana ?) que ha sufrido mineralización metasomática de hierro.

MODO APROXIMADO

| | |
|---|---|
| Microfenocristales y microlitos de plagioclasa | 60% |
| Hematita y limonita | 30% |
| Sericita y calcita | 10% |

MUESTRA 5 META BRECHA VOLCANICA

DESCRIPCION MACROSCOPICA

Meta brecha volcánica (mineralizada ?) con fragmentos líticos de más de 3.5 mm de diámetro, de color gris oscuro casi negro.

DESCRIPCION MICROSCOPICA

Meta brecha volcánica con fuerte alteración a calcita y minerales de arcilla. Se logra observar restos de una textura primaria clástica volcánica, con fragmentos de andesitas porfíricas de o.5 mm fuertemente fracturados y reemplazados a través de fracturas por calcita microgranular. Se observan seudomorfos de cristales de feldespatos (?) totalmente reemplazados a sericita y minerales de arcilla de color verde claro y débil pleocroismo verde-amarillento. Algunos de estos fragmentos aparecen rodeados de un halo de minerales opacos (minerales de cobre ?). Se observa gran cantidad de granos de minerales opacos diseminados en la matriz y formando granos del tamaño de los fragmentos líticos.

La matriz está totalmente reemplazada a un agregado de minerales de calcita y de arcilla. Los minerales de arcilla (de color verde amarillento) forman bandas alargadas y aplastadas contra los fragmentos y otras veces forma verdaderas amígdalas intersticiales.

Por las características descritas la muestra ha sufrido fuerte alteración de calcita y minerales de arcilla y opacos, posiblemente relacionados con mineralización.

MODO APROXIMADO

| | |
|---|---|
| Calcita | 30 % |
| Fragmentos líticos observados | 20 %(aún reconocibles) |
| Minerales de arcillas | 30 % |
| Opacos | 20 % |

MUESTRA 6 C META PORFIDO DIORITICO

DESCRIPCION MACROSCOPICA

Meta pórfido fino diorítico de color gris verdoso.

DESCRIPCION MICROSCOPICA

Meta pórfido diorítico actinolizado-epidotizado y con pumpellita. La muestra presenta textura porfírica con fenocristales de plagioclasa seriados de 2 - 1.5 mm y la mayor parte de 0.5 mm; con formas tabulares y casi totalmente reemplazados por epidota, pumpellita y en parte actinolita. Estos minerales secundarios aparecen en granos de 0.2-0.3 mm, generalmente entrecrecidos entre ellos y muchas veces reemplazan casi totalmente a los fenocristales.

Se observan núcleos de 2 - 3 mm de diámetro de epidota y pumpellita que parecen corresponder a sección de guías de estos minerales secundarios. La actinolita se observa en cristales escamosos de 0.1 - 0.2 mm de largo, formando agregados repartidos en toda la sección delgada.

La pumpellita se reconoce por su característico pleocroismo verde azulado y fino clivaje radial.

Intersticialmente y rodeando a los cristales de plagioclasa, se observan cristales de titonita (esfeno) secundarios.

Por las características descritas la muestra corresponde a un pórfido que sufrió una fuerte " alteración hidrotermal " o un fuerte " metamorfismo de carga " que produjo la asociación mineralógica secundaria de actinolita-epidota-pumpellita.

MODO APROXIMADO

| | |
|---|---|
| Plagioclasas | 60 % |
| Epidota | 10 % |
| Actinolita | 15 % |
| Pumpellita | 10 % |
| Otros | 5 % |

MUESTRA 7 MICRODIORITA

DESCRIPCION MACROSCOPICA

Microdiorita epidotizada-actinolizada de color gris verde claro.

DESCRIPCION MICROSCOPICA

Microdiorita formada por fenocristales de plagioclasa, en partes idiomorfos y en partes fracturados, de 0.5 - 3.0 mm de largo, completamente reemplazados a minerales de arcilla, epidota y actinolita de color verde claro. La composición de estos feno - cristales se puede definir en algunos restos frescos y corresponde a An 30-40, con zonación marcada y regular desarrollo de maclas polisintéticas. Contrasta la presencia contigua de cristales de plagioclasa casi totalmente reemplazados, con otros sólo parcialmente reemplazados.

La masa fundamental es holocristalina formada por un enrejado de cristales de plagioclasa (An 25-30) de formas cua - dradas a tabulares cortas (0.5 - 0.3 mm), cuarzo secundario con entrecrecimiento micrográfico con las plagioclasas, secciones basales y tabulares (0.3 mm) de hornblenda cloritizada y en parte actinolizada, granos de clorita microcristalina, granos de epidota con pleocroismo de color verde-amarillo, abundantes granos de titonita y guías de 0.2 mm de ancho que se ensanchan y ramifican, formadas por un agregado de cristales de actinolita de color verde pálido.

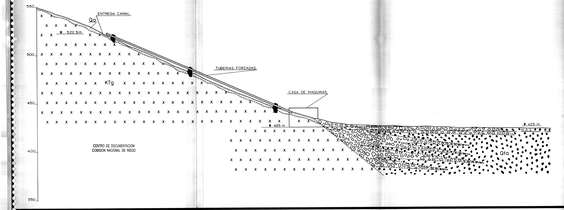
La muestra presenta "ojos" o "amígdalas" de más de 2 mm de diámetro, de cristales de epidota y titonita.

Por las características descritas la muestra corresponde a un filón (?) o "parte marginal" de un plutón intrusivo y fue sometido a fuerte alteración hidrotermal secundaria.

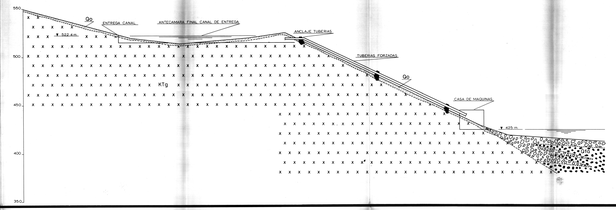
MODO APROXIMADO

| | |
|---|---|
| Fenocristales de plagioclasa | 65 % |
| Masa fundamental | 15 % |
| Minerales secundarios | 20 % |

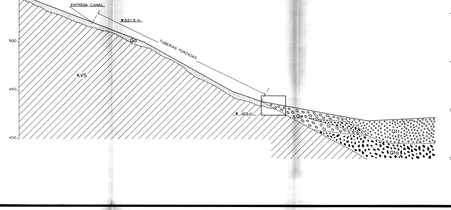
## PERFIL A-A' DE PLANO 1.




## PERFIL B-B' DE PLANO 1.




## PERFIL C-C' DE PLANO 1.




## PERFIL D-D' DE PLANO 1.

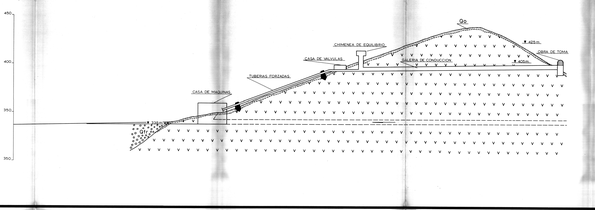



FIGURA 1. PERFILES DE ALTERNATIVAS CENTRALES HIDROELECTRICAS.

Escalas Horizontal y Vertical 1:1.000.

KVS ROCAS ESTRATIFICADAS FORMACION ABANICO :
- Principalmente lavas andesiticas afaniticas a porfiricas y lavas brechosas.
- Principalmente brechas tobiferas y tobas.

KTg ROCAS INTRUSIVAS :
- Principalmente dioritas y pórfidos dioriticos.

Q SEDIMENTOS DE COBERTURA ROCAS FUNDAMENTALES :
- Qo Rocas sueltas o escombrentas con espesor 0 a 5 m.
- Ge Escombreras potenles.
- Gfr Depósitos fluvioaluviales recientes.
- Gfa Depósitos fluvioaluviales de terrazas.

Cota de referencia.
Anclajes tuberias forzadas.
Apoyos tuberias forzadas cada 8 a 12 m. no indicados.

CENTRO DE DOCUMENTACION
COMISION NACIONAL DE RIEGO

MUESTRA 8 A ANDESITA PORFIRICA

DESCRIPCION MACROSCOPICA

Andesita porfírica alterada a calcita zeolita y clorita.

DESCRIPCION MICROSCOPICA

Andesita alterada. Se logra observar la textura andesítica de la roca invadida y cortada en numerosas direcciones por guías y venillas de minerales secundarios.

La andesita es porfírica y está formada por microfenocristales de plagioclasa de 1 - 2 mm de largo, con maclas polisintéticas bien desarrolladas con parcial alteración a calcita y minerales de arcilla. La masa fundamental está formada por microlitos de plagioclasa de 0.1 - 0.2 mm, generalmente arcillizados, a veces doblados por cataclasis y con bordes difusos, granos de clorita de color verde pálido muy traslúcido y vidrio reemplazado por material hematítico limonítico. También se observan granitos de magnetita (?) limonitizada de 0.2 - 0.3 mm y algunos granos de calcita.

La muestra presenta un enjambre de guías y amígdalas de calcita, clorita, zeolita y escaso cuarzo. La clorita forma amígdalas de 0.2 - 0.5 mm, generalmente rodeada por un halo limonítico, corresponde a clorita criptocristalina de color verde muy pálido y con colores anormales de interferencia. La zeolita aparece formando una enorme amígdala (más de 3 mm de diámetro) con pequeños granitos de cuarzo en la parte central de ella. La calcita aparece en guías que se ramifican en todas direcciones dentro de la sección delgada y corresponde al mineral secundario predominante.

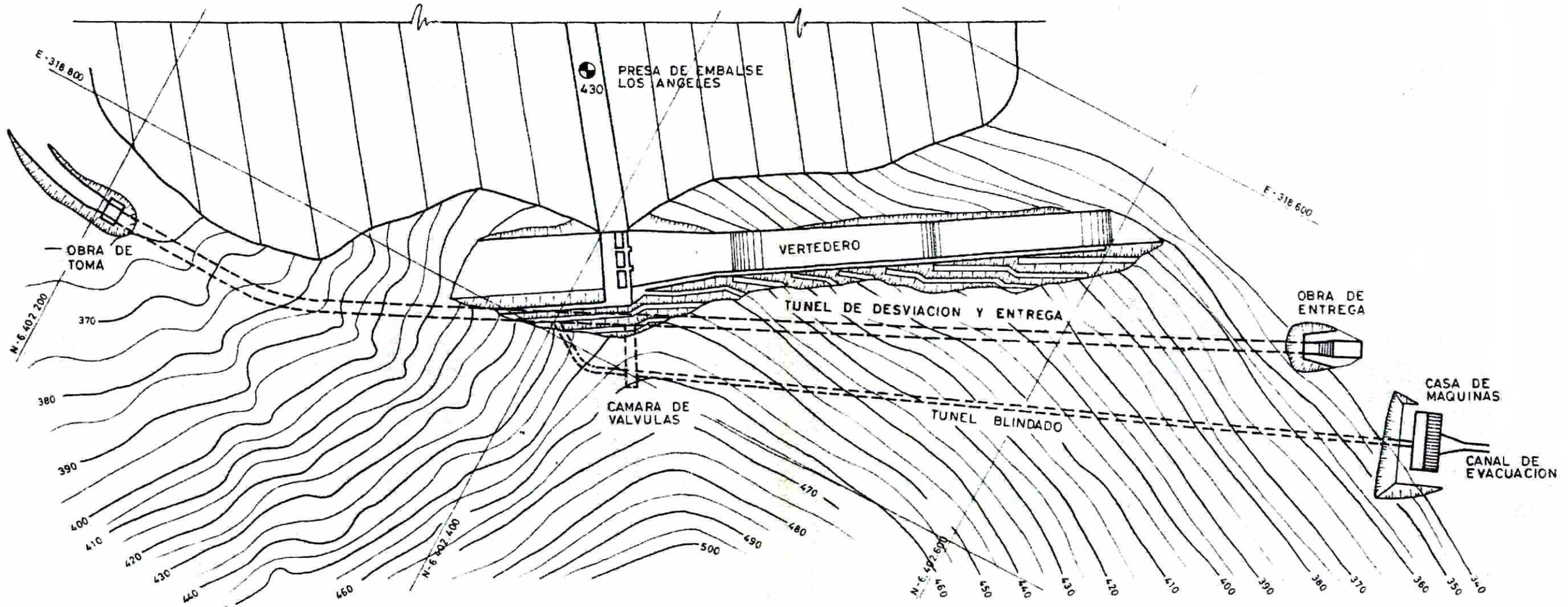
MODO APROXIMADO

| | |
|---|---|
| Fenocristales y microlitos de plagioclasa parcialmente arcillizados | 45 % |
| Hematita limonita magnetita | 15 % |
| Clorita | 10 % |
| Calcita | 20 % |
| Zeolita y cuarzo | 10 % |

FIGURA 2

# PLANTA CENTRAL HIDROELECTRICA DE PIE DE PRESA (E-E')

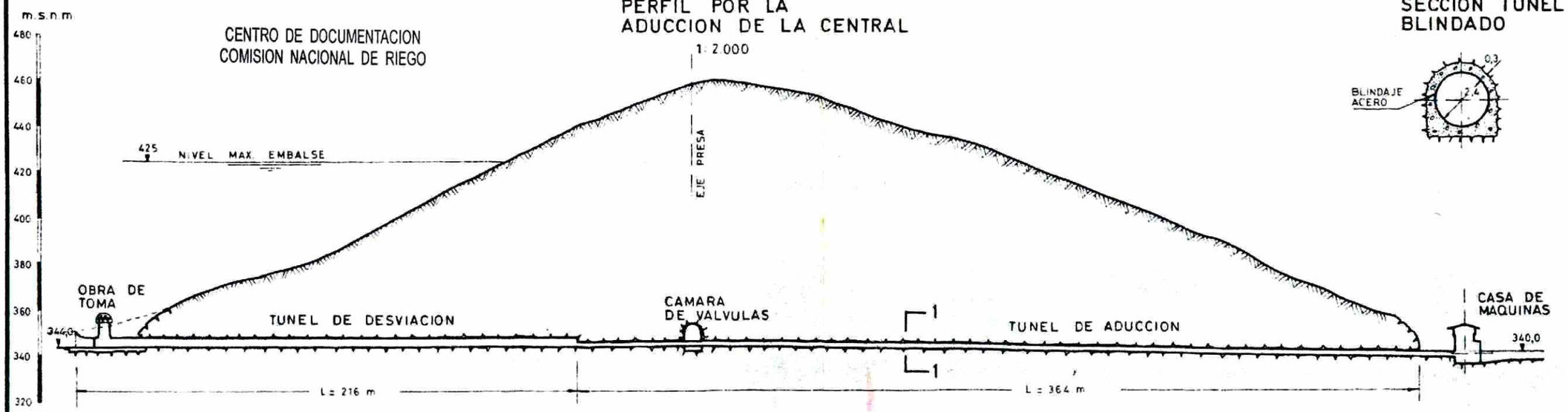
1:2.000




CENTRO DE DOCUMENTACION
COMISION NACIONAL DE RIEGO

## PERFIL POR LA ADUCCION DE LA CENTRAL

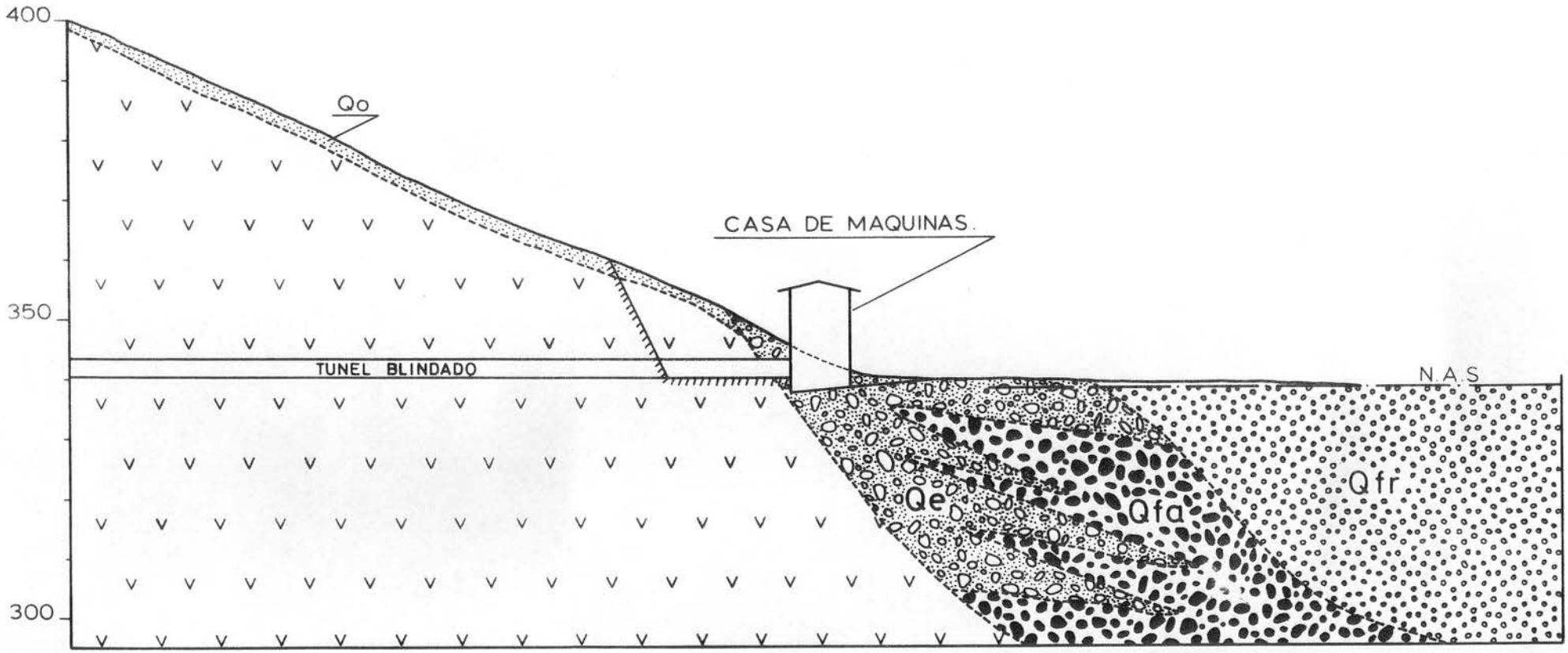
1:2.000




## CORTE 1-1 SECCION TUNEL BLINDADO

# FIGURA 3 PERFIL E-E'.

Escala Horizontal y Vertical 1:1.000



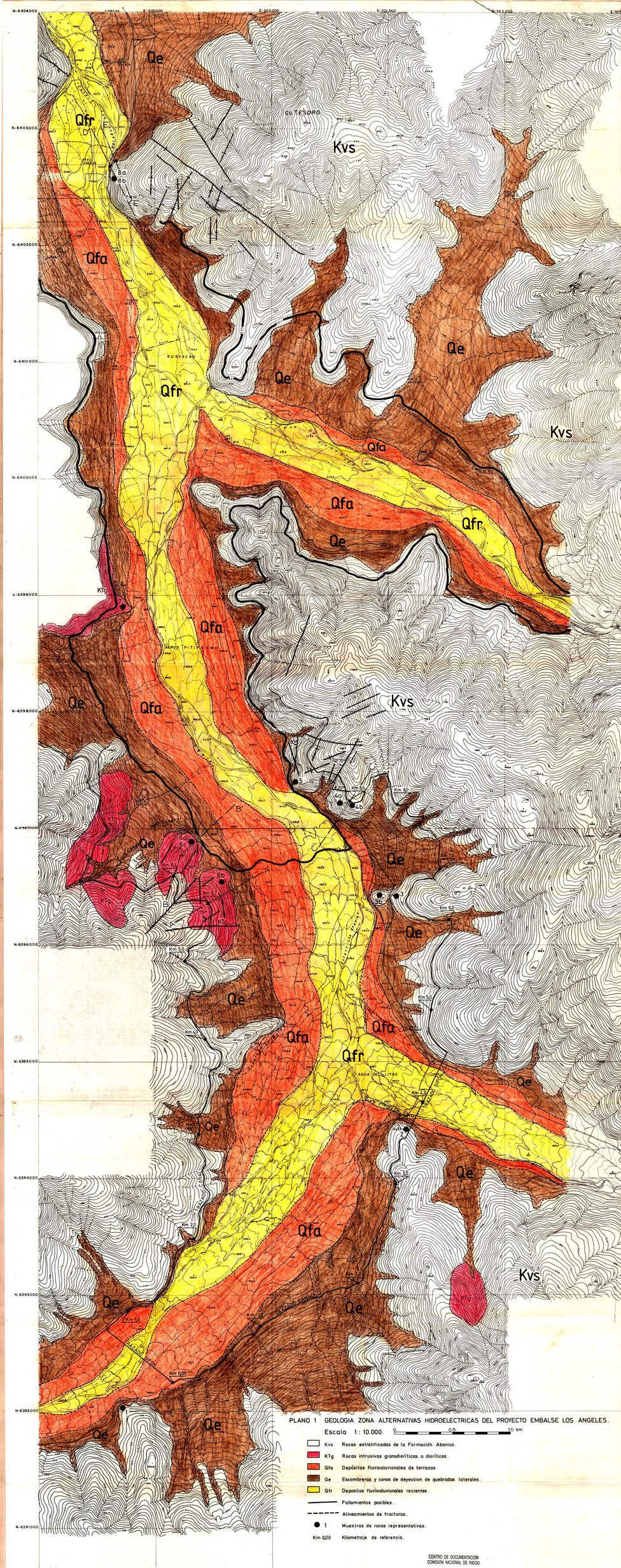

V V Basamento rocoso.

Qo Rocas sueltas o escombreras con espesor 0 a 3 m.

Qe Escombreras potentes.

Qfr Depósitos fluvioaluvionales recientes.

Qfa Depósitos fluvioaluvionales de terrazas.




PLANO 1 GEOLOGIA ZONA ALTERNATIVAS HIDROELECTRICAS DEL PROYECTO EMBALSE LOS ANGELES.

Escala 1 : 10.000. 0 0,5 1,0 km.

| | |
|---|---|
| Kvs | Rocas estratificadas de la Formación Abanico. |
| KTg | Rocas intrusivas granodioríticas a dioríticas. |
| Qfa | Depósitos fluvioaluvionales de terrazas |
| Qe | Escombreras y conos de deyeccion de quebradas laterales. |
| Qfr | Depositos fluvioaluvionales recientes. |
| ——— | Fallamientos posibles. |
| - - - - - | Alineamientos de fracturas. |
| ● 1 | Muestras de rocas representativas. |
| Km 0,00 | Kilometraje de referencia. |

CENTRO DE DOCUMENTACION
COMISION NACIONAL DE RIEGO