

PÚBLICO

DOCUMENTO DEL BANCO INTERAMERICANO DE DESARROLLO

ECUADOR

PROYECTO HIDROELÉCTRICO COCA ESTUDIOS DE PREFACTIBILIDAD

(EC0004)

ANEXO II GEOLOGÍA, SISMOLOGÍA Y MECÁNICA DE SUELOS VOLUMEN I - TEXTO

NOVIEMBRE 1977

10 27/100. E.E
411/SF-EE
412/SF-EE
Dpto.

INSTITUTO ECUATORIANO DE ELECTRIFICACION - INECEL

PROYECTO HIDROELECTRICO COCA

INFORME DE PREFACTIBILIDAD

ANEXO II - GEOLOGIA, SISMOLOGIA Y MECANICA DE SUELOS

VOLUMEN I - TEXTO

NOVIEMBRE DE 1977

QUITO-ECUADOR

ANEXO II

GEOLOGIA, SISMOLOGIA Y MECANICA DE SUELOS

INDICE

	<u>Página</u>
VOLUMEN I - TEXTO	
1. INTRODUCCION	1
2. GEOLOGIA GENERAL	3
3. SIMOLOGIA	16
3.1 Estructuras	16
3.2 Terremotos	18
4. GEOLOGIA DE LOS SITIOS DE OBRAS	22
4.1 Borja	24
4.1.1 Consideraciones Generales	24
4.1.2 Geología del Sitio	26
4.1.3 Geología del Túnel de Desvío y Aliviadero	36
4.1.4 Geología de la Casa de Máquinas	38
4.1.5 Geología del Embalse	39
4.1.6 Materiales de Construcción	48
4.2 El Chaco	54
4.2.1 Consideraciones Generales	54
4.2.2 Geología del Sitio de Presa	55

ANEXO II - GEOLOGIA, SISMOLOGIA Y MECANICA DE SUELOS

INDICE

	<u>Página</u>
4.2.3 Geología de los Túneles de Desvío y de Conducción a la Central	69
4.2.4 Geología del Aliviadero	73
4.2.5 Geología de la Casa de Máquinas	74
4.2.6 Geología del Embalse	76
4.2.7 Materiales de Construcción	83
4.3 Balsas	89
4.3.1 Consideraciones Generales	89
4.3.2 Geología del Sitio de Presa	90
4.3.3 Geología del Túnel de Desvío y Vertedero	100
4.3.4 Geología de la Casa de Máquinas	103
4.3.5 Geología del Embalse	105
4.3.6 Materiales de Construcción	110
4.4 Salado	119
4.4.1 Consideraciones Generales	119
4.4.2 Geología del Sitio de Presa	121
4.4.3 Geología de los Túneles de Desvío y de Conducción a la Central y del Vertedero	127
4.4.4 Geología del Embalse	130
4.4.5 Materiales de Construcción	136

ANEXO II - GEOLOGIA, SISMOLOGIA Y MECANICA DE SUELOS

INDICE

	Página
4.5 Malo - Codo Sinclair	140
4.5.1 Consideraciones Generales	140
4.5.2 Geología del Sitio de Presa	142
4.5.3 Geología del Embalse	151
4.5.4 Materiales de Construcción	160
4.5.5 Geología del Túnel, Compensador y Central	163
5. MATERIALES NATURALES PARA HORMIGON	167
6. GEOLOGIA DEL AREA DEL MACHACUYACU	174
7. CONSIDERACIONES FINALES Y RECOMENDACIONES	177
8. BIBLIOGRAFIA	182
APENDICE I - RESULTADO DE LAS INVESTIGACIONES GEO-FISICAS	183
APENDICE II - RESULTADOS DE LOS ENSAYOS GEOTECNICOS DE LABORATORIO	211
APENDICE III - ESTUDIOS PETROGRAFICOS	238
APENDICE IV - PROGRAMA DE PERFORACIONES GEOLOGICAS - SITIO SALADO	271
APENDICE V - INFORMES DE LOS CONSULTORES JAMES L. SHERARD, HAROLD STUART Y MINARD HALL	272
VOLUMEN II - LAMINAS	

ANEXO II - GEOLOGIA, SISMOLOGIA Y MECANICA DE SUELOS

INDICE - CUADROS

<u>Nº</u>	<u>Descripción</u>	<u>Entre Páginas</u>
II.2.1	Columna Estratigráfica	5 y 6
II.5.1	Clases de Esfericidad, según Th. Zingg	172 y 173

ANEXO II

GEOLOGIA, SISMOLOGIA Y MECANICA DE SUELOS

1. INTRODUCCION

Los estudios geológicos presentados en este Anexo fueron iniciados por un reconocimiento geológico general de la cuenca del Río Quijos-Coca, el mismo que cubrió un área de 2.200 km^2 , siendo 1.300 km^2 de mapeo de campo y 900 km^2 por fotointerpretación. La distribución de las distintas litologías, sus relaciones de contacto, la localización de las estructuras tectónicas, una estimación de la capa meteorizada y los aspectos geomorfológicos fueron algunos de los tópicos estudiados.

Como etapa consecutiva fueron inspeccionados más de un centenar de sitios de presa seleccionados previamente por estereoanálisis y estudios energéticos. Este estudio se basó fundamentalmente en el conocimiento geológico general de la cuenca y de visitas de inspección a los sitios, calificándolos en adecuados, dudosos y no recomendables.

Esta evaluación geológico-geotécnica, aliada a las características

ANEXO II - GEOLOGIA, SISMOLOGIA Y MECANICA DE SUELOS

topográficas, hidrológicas e hidráulicas permitió la selección de un esquema de aprovechamiento a lo largo del Río Quijos-Coca y de los tributarios Papallacta, Oyacachi y Salado.

Del esquema de aprovechamiento integral de la cuenca resultó un esquema prioritario conformado por presas altas con centrales a pie de presa en Borja, El Chaco, Balsas y Salado y una presa de derivación en Malo con conducción subterránea a un compensador y de ese punto a la central encavernada en el Codo Sinclair.

En los sitios de presa y en las respectivas áreas de embalse fueron realizados estudios geológicos en mayor detalle a través de mapeos de superficie, abertura de pozos y trincheras y ejecución de sondeos eléctricos y perfiles de sísmica de refracción.

Los estudios realizados hasta la fecha permitieron, a nivel de prefactibilidad, la definición de las excavaciones para las cimentaciones de las obras propuestas, la necesidad de tratamientos especiales de las fundaciones, estimación de los volúmenes y características geotécnicas de los distintos materiales de construcción y estimación de las condiciones de tuneleo y de la estabilidad de las pendientes naturales del terreno en el área del embalse.

Los resultados de las investigaciones realizadas, las conclusiones principales y las recomendaciones para los estudios futuros son presentados en este Anexo.

ANEXO II - GEOLOGIA, SISMOLOGIA Y MECANICA DE SUELOS

2. GEOLOGIA GENERAL

La geología general del área fue objeto de un informe especial en Diciembre de 1976.

A continuación se presenta un resumen de las características geomorfológicas y geológicas de la cuenca del Río Quijos-Coca.

Esta cuenca ocupa una depresión orientada del NE al SW, limitada por grandes unidades orográficas como son la Cordillera Real y el Domo Napo-Galeras. Se puede diferenciar las siguientes unidades geomorfológicas:

- a) Zona alta de la Cordillera Real, en la parte occidental del área con altitudes sobre los 3.500 m.s.n.m. y correspondiente a la zona de páramos, picos y volcanes. Las pendientes moderadas, las zonas de mesetas, los grandes volcanes (Cayambe y Antizana), y la presencia de la acción glaciaria son características de esta unidad geomorfológica.
- b) Estribaciones orientales de la Cordillera Real, la misma que constituye la zona de transición entre los páramos de la Cordillera Real y la llanura aluvial. Es una zona de pendientes fuertes y característica de los deslizamientos y reventazones.

ANEXO II - GEOLOGIA, SISMOLOGIA Y MECANICA DE SUELOS

- c) Domo Napo-Galeras, representado por la Cordillera de Guagrahurco y el Nudo de Dué, localizados en la margen derecha e izquierda del Río Coca, respectivamente. La Cordillera está constituida por una meseta que alcanza cotas cercanas a los 2.000 m.s.n.m., limitada por acantilados que llegan hasta la depresión del Quijos. Es el dominio de las rocas sedimentarias de las formaciones Hollín, Napo y Tena. El Nudo de Dué se caracteriza por la presencia del volcán activo Reventador que, con sus erupciones, ha remodelado y continúa remodelando la morfología del sector. El cono actual alcanza a 3.485 m.s.n.m. y se eleva desde una caldera antigua de forma circular, abierta hacia el E y SE.
- d) Depresión del Quijos-Coca, con orientación NE-SW, morfológicamente constituida de dos sectores: el primero entre Baeza y la Cascada de San Rafael, con un ancho variable entre 2 y 5 km, con gran desarrollo de depósitos fluviales y un segundo, aguas abajo de la Cascada con un menor ancho, encañonado y con depósitos aluviales esporádicamente distribuidos.

Geológicamente, las rocas del área estudiada se extienden desde el Paleozoico hasta formaciones recientes, encontrándose una gran variedad de rocas metamórficas, sedimentarias e ígneas.

La distribución de estas rocas está indicada en las Láminas Nos. HS/IA-442-GM-007 a 015.

ANEXO II - GEOLOGIA, SISMOLOGIA Y MECANICA DE SUELOS

El Cuadro Nº II.2.1 presenta la secuencia estratigráfica de las litologías estudiadas.

Las rocas más antiguas pertenecen al cinturón metamórfico de la Cordillera Real, constituyendo el basamento cristalino sobre el cual se levantó la Cordillera de los Andes. Este cinturón metamórfico está formado por una serie de rocas pelíticas, cuarzo feldespáticas y básicas en menor cantidad.

En las regiones altas, al occidente del área estudiada, están cubiertas por depósitos volcánicos recientes; hacia el Oriente tienen un contacto fallado con las formaciones mesozoicas de la cuenca Amazónica.

En la región Occidental del área de Oyacachi, entre la zona comprendida entre el Río Chalpi y Quebrada El Guango, se encuentran esquistos cuarzo-feldespáticos, cloríticos, muscovíticos, filitas y esquistos "carbonosos", gneises cuarzosos y micáceos, en proporciones variables.

En las regiones de Quinjua y Maspa (Papallacta) y Cedro y Chalpi (Oyacachi) las rocas predominantes son los esquistos y gneises cuarzo feldespático y micáceos, con estructura esquistosa microplegada.

COLUMNA ESTRATIGRAFICA

ESCALA 1:10 000

GRUPO	SISTEMA	SERIE	PISOS	FORMACIONES	SIMBOLO	PERFIL ESTRATIGRAFICO	POTENCIA (mts)	DESCRIPCION LITOLOGICA
MESOZOICO (MZ)	CUATERNARIO				Q Vr			DEPOSITOS ALUVIALES MODERNOS Y TERRAZADOS MORRENAS
								ROCAS VOLCANICAS LAVAS Y PIROCLASTOS
	CRETACEO (K)	CRETACEO SUPERIOR K3	MAESTRICHTENSES	Tena	Kt		400 - 600	LUTITAS ROJAS ABIGARRADAS, EN SU BASE PRESENTAN ARENISCAS CON GRANULOMETRIA DIFERENTE, EN SU PARTE SUPERIOR FACIES ARENOSAS Y NIVELES CONGLOMERATICOS; PARCIALMENTE METAMORFIZADAS
			CAMPAN ENSE SANTONIENSE CONIAC ENSE	Napo Superior	Kn3		250-400	LUTITAS NEGRAS CON INTERCALACIONES DE ARENISCAS. CALIZAS NEGRAS CON FOSILES. LUTITAS NEGRAS CON INTERCALACIONES DE ARE- NISCAS GLAUCONITICAS. PARCIALMENTE METAMORFIZADAS.
		CRETACEO MEDIO K2	TURONENSE	Napo Medio	Kn2		80-150	ARENISCAS BLANCAS ASPECTO SACAROIDAL GRANULOMETRIA VARIABLE, PARCIALMENTE METAMORFIZADAS.
			SENOMANENSE	Napo Inferior	Kn1			
			ALBENSE	Hollín	Kh			
		CRETACEO INFERIOR K3	APTENSE					
	JURASICO (J)	JURASICO MEDIO-JURASICO SUPERIOR (J-1-2)					> 600.	ROCAS VOLCANICAS : PORFIRITAS, LAVAS ANDESITICAS, BRECHAS E IGNIMBRITAS PARCIALMENTE METAMORFIZADAS.
				MISAHUALLI	JK			
PALEOZOICO (PZ)	CAMBRICO (Cm)						> 1500	ROCAS METAMORFICAS : ESQUISTOS Y GNEISES
				METAMORFICA	u			

ANEXO II - GEOLOGIA, SISMOLOGIA Y MECANICA DE SUELOS

Rocas básicas se presentan como fajas potentes, con un espesor promedio de un centenar de metros, concordantes con la foliación regional y distribuidas esporádicamente dentro del cinturón metamórfico.

Esencialmente, las rocas metamórficas de esta serie, son bien foliadas, manteniendo un rumbo promedio de N 10° E y buzamientos variables, predominando los fuertes hacia el occidente.

Todas las rocas estudiadas han sido metamorfizadas regionalmente.

Estratigráficamente sigue la Formación Misahualli, del Jurásico superior, con una gran repartición dentro del área de estudio. Es una de las formaciones más importantes para el Proyecto, por sus características de roca competente y aflorante en el lecho de los principales ríos.

Su potencia total en el área es desconocida, habiendo sido estimada en 650 m, aproximadamente, en el sector de la Quebrada del Colibrí.

Esta Formación reúne gran variedad de rocas de origen volcánico, entre las cuales se pueden mencionar las tobas porfiríticas, las ignimbritas y las lavas andesíticas.

Las tobas porfiríticas son duras, compactas, con diaclasas lisas

ANEXO II - GEOLOGIA, SISMOLOGIA Y MECANICA DE SUELOS

y cortantes y de un color gris a gris verdoso; cuando se presentan silicificadas cambian a un gris rosado.

Las ignimbritas presentan características similares a las anteriores con la diferencia de que en éstas se observan lentes o flamas de vidrio con espesores milimétricos o centimétricos.

El último tipo litológico reconocido en esta Formación presenta coloración gris-verdosa a verde, fenocristales de plagioclasa y una laminación de flujo concordante con la estratificación de las tobas intercaladas.

La Formación Hollín (Cretácico inferior-medio), en discordancia angular sobre la anterior, se encuentra en el área de estudio a lo largo del valle del Río Coca en forma casi continua y hacia ambos márgenes, formando farallones casi verticales.

Está constituida por areniscas cuarzosas, mal clasificadas, de color blanco a amarillo.

Forman estratos gruesos y separados entre sí por delgadas capas de lutitas gris-oscuras.

Las lutitas van aumentando su potencia hacia el tope, disminuyendo la de las areniscas, pasando gradualmente a una preponderancia de

ANEXO II - GEOLOGIA, SISMOLOGIA Y MECANICA DE SUELOS

las primeras, que forman la base de la Formación Napo. La Formación Hollín, en la zona del Codo Sinclair, tiene una potencia máxima de 150 m, en estratos sub-horizontales o con buzamiento máximo de 10°N.

La Formación Napo se encuentra suprayacente a la Hollín, ocupando por lo tanto su misma extensión areal pero con afloramientos más extensos. Su ocurrencia principal y continua está ubicada a lo largo de la cordillera que forma la extensa curva del valle del Río Coca, entre su confluencia con el Río Salado y el Codo Sinclair.

Las rocas constituyentes de esta formación son depósitos marinos de lutitas negras calcáreas, laminadas, entre las cuales se van intercalando capas de areniscas y calizas negras (Napo inferior).

La Napo medio presenta una predominancia de calizas negras, en bancos gruesos, separados por delgadas capas de lutitas negras mientras en la superior dominan las lutitas. El espesor total aproximado de esta formación es de 380 m.

La Formación Tena, estratigráficamente la siguiente, está constituida por arcillolitas y limolitas abigarradas, de color rojo, masiva y pobremente estratificada. En profundidad adquieren matices gris verdosos, acompañadas localmente, de mantos arenosos.

ANEXO II - GEOLOGIA, SISMOLOGIA Y MECANICA DE SUELOS

La potencia de esta formación no fue determinada en el área de estudio pero se puede estimar entre 800 y 900 metros.

En el terciario, durante el Mio-Plioceno, se desarrollaron en el área del Quijos los cabalgamientos que pusieron en contacto fallado el metamórfico de la Cordillera Real con las rocas mesozoicas (Misahualli, Hollín, Napo y Tena). Los efectos de esta fase de compresión se hacen notar por el metamorfismo de muy bajo grado de esas rocas, el cual es revelado por la existencia de intensa silicificación y piritización en las cercanías de los cabalgamientos, formación de plegamientos y un cambio transicional de las rocas no deformadas a deformadas, en dirección SE-NW, aumentando en ese sentido el grado de metamorfismo.

Entre estas rocas cabe destacar las metavolcanitas, metareniscas, pizarras, filitas negras, calizas recrystalizadas y filitas rojas.

Las primeras son producto del metamorfismo de las rocas de la Formación Misahualli; las metareniscas son originarias de la Formación Hollín. Las pizarras, las filitas negras y las calizas recrystalizadas constituyen el resultado del metamorfismo sobre la Formación Napo mientras las filitas rojas pertenecen a la Formación Tena.

La repartición areal de las rocas semi-metamórficas puede ser observada en los mapas geológicos adjuntos.

ANEXO II - GEOLOGIA, SISMOLOGIA Y MECANICA DE SUELOS

Dentro del período Cuaternario encontramos el grupo de rocas volcánicas recientes, modernas y contemporáneas.

En el área de estudio se pueden distinguir las rocas volcánicas de la zona de Papallacta, del Río Machángara (Baeza) y de la Planada de la Virgen. Son flujos lávicos con disyunción columnar, cuyos prismas presentan diámetros de hasta 0,70 m, formando prismas alargados con taludes verticales de hasta 120 m de altura, originándose en la parte superior altiplanicies como la existente al SW de Baeza, en Papallacta y en la Planada de la Virgen. Son de color negro hasta gris-verdoso, que por acción de agentes meteorizantes, adquieren el color rojo amarillento. Pertenecen a rocas de naturaleza andesítico-basáltica.

Las acumulaciones de materiales volcánicos diferentes son producto de erupciones acaecidas en tiempos también diferentes, lo cual se corrobora con la presencia de los niveles de alteración rojiza en las rocas expuestas en superficie.

Las coladas lávicas se desprendieron de los volcanes localizados en la parte occidental del área.

Los depósitos volcánicos recientes se hacen presentes en la cuenca del Río Papallacta, donde han taponado el cauce del río, represando sus aguas, y originando la laguna del mismo nombre. Las ro-

ANEXO II - GEOLOGIA, SISMOLOGIA Y MECANICA DE SUELOS

cas forman parte del conjunto denominado "lavas del Antisanilla" o "reventazón de Potrerillos".

Están compuestos de bloques sueltos y lavas, en diámetros que van de 1 a 5 m, cuya coloración y composición es diferente, y distribuidos caóticamente. Rellenando los espacios entre los bloques se encuentra material más fino, constituido principalmente de escorias color marrón; además se pudo distinguir tobas de color rojizo.

A lo largo del Río Coca, aproximadamente desde el km 60 hasta el km 25, se presentan en el valle del río, en las dos márgenes, rocas volcánicas contemporáneas.

Se han formado como producto de erupciones violentas con transporte en masa de cenizas calientes (INECEL 1975), correspondiente a las emanaciones intermitentes del Volcán Reventador, ocupando un ancho promedio de 2 km, transversalmente al río.

Desde el km 25 en el Río Coca hacia aguas abajo, se encuentran esporádicos afloramientos de toba volcánica que no llegan a 100 m de extensión y que van desapareciendo paulatinamente.

Las tobas volcánicas son las de mayor extensión en el área estudiada, dentro del grupo de rocas volcánicas provenientes del Volcán

ANEXO II - GEOLOGIA, SISMOLOGIA Y MECANICA DE SUELOS

Reventador y se encuentran enmascarando a las formaciones inferiores, principalmente a la Formación Misahualli.

Los flujos lávicos se observaron aisladamente, en varios sectores, como intercalaciones dentro de las efusiones volcánicas del Reventador, entre las cuales se destacan, por su continuidad y extensión, las de la Cascada San Rafael y las del Río Malo y sus afluentes de la margen izquierda.

En el sitio de la Cascada son bastante representativas, con una extensión longitudinal, aproximada en dirección este-oeste, de 1.500 m. Es característico en este sector la disyunción columnar hexagonal en las lavas de la parte basal de la Cascada.

Otro sector importante y de mayor ocurrencia es en el Río Malo, donde se han depositado las lavas en la margen izquierda hasta las cercanías de su desembocadura en el Río Coca. Son de mayor extensión, llegando a una longitud aproximada de 3.000 m a lo largo del río.

Entre las rocas de cobertura se destacan los depósitos morrenicos, los depósitos fluvio lacustres, los escombros de talud, los conos de deyección y los depósitos aluviales.

En el área del Proyecto se localizaron depósitos morrenicos, tanto

ANEXO II - GEOLOGIA, SISMOLOGIA Y MECANICA DE SUELOS

en el Río San Pedro, afluente del Río Papallacta, como en la cuenca del Río Oyacachi, a una altura de 3.500 a 3.800 m. Estos depósitos se diferencian el uno del otro por la composición del material que los forma.

Los depósitos fluvio-lacustre se localizan en el área de Papallacta, y están ocupando pequeñas zonas que forman terrenos relativamente planos cortados por este río. Están formados de materiales limosos de color obscuro, limo-arenosos y arenas limosas de color amarillento, de origen volcánico, ligeramente estratificados.

En el área de estudio, se representan unicamente los principales escombros de talud debido a la pequeña escala de los mapas en los que se trabajó. La naturaleza de estos coluviones depende del tipo de roca que forma las laderas; además la extensión de éstas últimas, es el producto de la acumulación de material superficial disgregado que, por acción de la gravedad, cae formando depósitos que muchas veces sobrepasan los 10 m de espesor.

Las rocas de la Formación Misahualli, por sus características litológicas, se alteran con dificultad, originando coluvios de poco volumen en el que predominan pedazos angulosos grandes, medianos y pequeños. En cambio, los coluvios originados en las Formaciones Hollín, Napo y Tena, están compuestos de materiales fácilmente disgregables, son más numerosos y ocupan grandes volúmenes. Así por

ANEXO II - GEOLOGIA, SISMOLOGIA Y MECANICA DE SUELOS

ejemplo, en la margen izquierda del Río Salado, cerca a su desembocadura, el material coluvial predominante es arcilloso. De la misma manera, surgen depósitos coluviales en la zona de rocas metamórficas (cuenca de los Ríos Papallacta y Oyacachi) donde el material se disgrega y cae con mayor facilidad cuando la foliación es paralela o casi paralela a la pendiente de la ladera. En la zona alta de los Ríos Papallacta y Salado se localizaron escombros de talud formados por fragmentos de rocas volcánicas.

En el área del Proyecto Coca, por la presencia de un relieve muy accidentado, con pequeños ríos de valles profundos, en forma de V, principalmente en las partes altas de los Ríos Oyacachi y Papallacta, se originan deslizamientos del material de cobertura, el cual es arrastrado y depositado en sus desembocaduras formando conos de deyección. Suceden casos en que el volumen de material que cae al lecho del río es tan grande que logra represar sus aguas temporalmente; cuando las aguas rompen esta presa natural se producen las "reventazones" arrastrando grandes cantidades de material de todo tamaño que va a incrementar el volumen y espesor de los conos con características destructoras.

En los mapas del presente Anexo se indican los depósitos aluviales de forma general, ya que la escala de los mismos no permite una diferenciación de los niveles presentes en el terreno. Por lo tanto se indican solamente los depósitos aluviales y terrazados que,

ANEXO II - GEOLOGIA, SISMOLOGIA Y MECANICA DE SUELOS

en conjunto, presentan en todo el área una morfología casi plana.

Respecto a los depósitos aluviales contemporáneos, se mencionan a las acumulaciones en el cauce actual de los ríos, a las planicies ribereñas que sufren inundaciones y las terrazas presentes en los flancos de los valles, distribuidas en grandes extensiones a lo largo de los principales ríos que componen esta cuenca.

Su litología es un tanto diferente si tomamos en consideración el área en la cual estos depósitos y terrazas están ubicados. Así tenemos que en los Ríos Salado, Oyacachi, mayoría del Papallacta, y Quijos, predominan cantos rodados de rocas de origen metamórfico e intrusivas, y en sitios donde prevalecen rocas volcánicas, se pueden ver acumulaciones de carácter mixto: volcánicas y metamórficas, como sucede en la parte alta del Río Papallacta, en el Río Coca aproximadamente hasta el Río Malo y en la parte alta del Río Salado. Se puede apreciar además, en la zona de la Cascada de San Rafael, terrazas exclusivamente con material de origen volcánico.

Estas terrazas presentan cantos rodados con diámetros que van desde los 0,25 m a 2 m, bien redondeados, entre los cuales se ven espacios rellenos de gravas, arena gruesa y también material limoso. Entre estas terrazas se intercalan lentes, de hasta 4 y 5 m de espesor, constituidos por material arcilloso masivo con restos de madera y cantos de rocas semiredondeados y angulosos.

ANEXO II - GEOLOGIA, SISMOLOGIA Y MECANICA DE SUELOS

En conjunto las terrazas presentan taludes con alturas que alcanzan los 120 m como máximo, como se observa en la parte media del Río Salado.

Además de los tipos rocosos mencionados cumple destacar la presencia de cuerpos intrusivos en Cosanga (composición básica) y en el área de Cascabel y Salado (diorita).

3. SISMOLOGIA

3.1 ESTRUCTURAS

Estructuralmente, el área objeto de este estudio, es regionalmente muy compleja. Las evidencias encontradas en el campo indican que existe una diversidad de fases tectónicas originadoras de las estructuras observadas.

Todos los rasgos estructurales, debido a esfuerzos compresivos, tienen una orientación regional paralela a la cordillera de los Andes, efecto mucho más obvio en el terreno metamórfico.

En base a observaciones de campo y fotogeológicas comprobadas e inferidas, conclúyese que el sistema regional de fallamiento tiene una orientación promedio de N 10° E con buzamientos casi verti-

ANEXO II - GEOLOGIA, SISMOLOGIA Y MECANICA DE SUELOS

cales, sistema que no interesa mayormente a las rocas volcánicas ya que su principal influencia se centraliza en el área de contacto entre las rocas metamórficas y sedimentarias de la cuenca Amazónica.

El principal tipo de fallas que ocurre, generalmente vista en terreno metamórfico, es del tipo normal con un desplazamiento de rumbo (medido en estrías de cizalla) y con buzamiento ("plunge") de 45° hacia el norte.

En el área de Oyacachi se detectó una importante zona de cizallamiento, la cual estaría indicando posiblemente un cabalgamiento.

Existe otro sistema de fallamiento con una orientación promedio de N 50° E, alcanzando valores hasta de E-W, el cual afecta principalmente a las rocas sedimentarias y a las metamórficas de muy bajo grado de la cuenca del Río Quijos y la parte baja de la cuenca del Río Salado.

En las rocas metamórficas el sistema de diaclasamiento tiene una orientación predominante este-oeste, con buzamientos de aproximadamente 90° y otro sistema N-NE- y S-SW con buzamientos desde 70° hasta 80°NW.

En los estudios realizados en el área, no fueron reconocidas fallas

ANEXO II - GEOLOGIA, SISMOLOGIA Y MECANICA DE SUELOS

activas. Sin embargo esa observación es muy difícil en una zona con la cubierta vegetal densa, con la presencia de una capa meteorizada y con accesos difíciles, condiciones presentes en la cuenca del Quijos-Coca.

Estudios para la detección de fallas activas están programados y su realización está prevista para etapas más avanzadas de diseño.

3.2 TERREMOTOS

Los estudios realizados hasta el presente han sido generales en el País razón por la cual hay que considerarlos preliminares e indicativos.

La Lámina N° HS/IA-442-GM-004 presenta la localización de los epicentros de los terremotos con sus respectivos valores de magnitud y año de ocurrencia.

El área del Proyecto debe ser considerada como sísmicamente activa suponiéndose que esa actividad puede ser incrementada como resultado de la sobrecarga del área por la presencia de futuros embalses.

La magnitud de mayor frecuencia de los sismos está entre los valores de 4,0 y 5,0.

ANEXO II - GEOLOGIA, SISMOLOGIA Y MECANICA DE SUELOS

El actual conocimiento sobre los terremotos destructivos, en lo que respecta a las medidas de los movimientos del terreno, permite algunas conclusiones generales para los terremotos en la costa del Pacífico. Los resultados instrumentales han sido complementados por informaciones relativas al análisis de los datos y estudios teóricos sobre el mecanismo del fallamiento.

Según Hudson, la máxima aceleración del terreno, en aluviones compactos, en regiones epicentrales de fuertes terremotos, no es superior a 0,5 g, aproximadamente.

El tiempo de duración de fuertes vibraciones del terreno, en aluviones compactos, no es mayor que 45 segundos aproximadamente.

Movimientos destructores del terreno, asociados a terremotos, son de 3 tipos, los mismos que deberían ser cuidadosamente identificados ya que presentan diferentes problemas de medida e interpretación de los daños:

- a) El terremoto puede iniciar deslizamientos o movimientos superficiales locales, los mismo que pueden dañar las estructuras por el hecho sencillo de remoción del material de cimentación.
- b) El choque producido en el terreno por el terremoto puede oca-

ANEXO II - GEOLOGIA, SISMOLOGIA Y MECANICA DE SUELOS

sionar, en larga escala, un asentamiento y consolidación del suelo y subsuelo, causando daños en las estructuras, por deformaciones excesivas de la fundación.

- c) La aceleración del terremoto en el terreno puede inducir fuerzas destructivas de inercia en las estructuras.

Según el autor anterior, pueden ser reconocidas tres regiones:

- a) en regiones cercanas al epicentro del terremoto (8-16 km) los componentes de alta frecuencia, menores que un período de 0,1 s, son predominantes;
- b) a distancias intermedias (32-48 km) fuertes movimientos del terreno excitan a las estructuras casi uniformemente sobre una faja de frecuencia del espectro, desde 0,3 ó 0,4 hasta 0,3 ó 0,4 s; y,
- c) a grandes distancias de la fuente (80-160 km), los componentes de alta frecuencia serán filtrados, siendo en consecuencia las ondas de períodos largos las predominantes.

El terremoto de diseño deberá ser considerado como de intensidad VIII en la escala M. Mercalli (equivalente a una magnitud 6 en la escala de Richter), y con un valor de λ variando entre 0,22 y 0,05.

ANEXO II - GEOLOGIA, SISMOLOGIA Y MECANICA DE SUELOS

Para las estructuras de concreto los cálculos deberán considerar $\lambda = 0,05$ y los efectos de la inercia en el hormigón, debido a la aceleración sísmica.

En la actual etapa de los estudios es válido considerar que una falla, distante entre 5 y 6 km de los sitios de obras, podría ser la responsable por un terremoto de magnitud 6, en la escala de Richter.

Tal terremoto presentaría un período predominante de 0,25 s y una aceleración máxima de 0,45 g.

El valor de la aceleración máxima en superficie sería de 27 g y la duración del pico de la sacudida "Strong Shaking" de 15 s.

Cabe finalmente recalcar, que el Volcán Reventador, en actividad continua podría provocar sismos de intensidades inferiores a la de los eventualmente causados por tectonismo.

La propia recarga del área, por la futura presencia de embalses, podrá ser una causa del surgimiento de sismos y/o aumento de la sismicidad del área.

Con el objeto de evaluar la sismicidad local, está prevista la instalación de una red triangular de sismógrafos.

ANEXO II - GEOLOGIA, SISMOLOGIA Y MECANICA DE SUELOS

4. GEOLOGIA DE LOS SITIOS DE OBRAS

Los sitios de aprovechamiento seleccionados por sus características topográficas, hidráulicas y geológicas y que fueron objeto de investigaciones más detalladas, son presentados en la Lámina N° HS/IA-442-GM-067.

En estos locales además de estudios geológicos de superficie, fueron ejecutadas excavaciones de pozos y trincheras, levantamientos sísmicos de refracción y sondeos eléctricos y localización de áreas de préstamo de materiales naturales de construcción.

Ensayos geotécnicos de laboratorio fueron conducidos para la caracterización de los distintos materiales.

Los estudios geológicos realizados en esta etapa tienen por finalidad primordial la descripción de los distintos materiales que constituyen los sitios de obras y sus propiedades que puedan influenciar las alternativas técnicas, en lo que respecta a la economía y seguridad.

En algunos casos, además de conceptos puramente cualitativos, fue necesario suministrar parámetros de resistencia de las rocas, datos estimados en base a la experiencia de otras obras en condiciones similares y consultas bibliográficas.

ANEXO II - GEOLOGIA, SISMOLOGIA Y MECANICA DE SUELOS

En lo que respecta a los trazados de túneles, el actual nivel de los estudios permite una estimación preliminar de las condiciones de tuneleo. Es difícil determinar las condiciones de la roca en profundidad y predecir, en algunos casos, el tipo de la roca, por la complejidad tectónica y las intercalaciones de distintos materiales especialmente en las formaciones volcánicas.

En las etapas más avanzadas de los trabajos el estudio de los túneles analizará detalladamente la sismicidad del área, ya que es un factor de gran importancia para el diseño de obras subterráneas.

En caso de túneles de grandes diámetros (mayores que 10 m) y en base a la información disponible parece ser preferible la abertura de 2 túneles individuales de menor diámetro.

En el caso que un túnel cortara una falla, deberán ser consideradas las consecuencias de movimientos a lo largo de la falla, causados por terremotos.

En base a experiencias pasadas e informaciones publicadas sobre el valor "in situ" del módulo de deformación de masas rocosas, es factible admitir que el módulo de Young de rocas duras y diaclasadas, alrededor de un túnel, presente valores del orden de 500.000 psi ó 36.000 kg/cm^2 . En el caso de un túnel con 10 metros de diámetro y

ANEXO II - GEOLOGIA, SISMOLOGIA Y MECANICA DE SUELOS

un espesor de revestimiento de concreto de 20 centímetros ($E = 3 \times 10^6$ psi ó $2,1 \times 10^5$ kg/cm²), tendríamos un grado de flexibilidad para el revestimiento de 280,37. Cálculos realizados por Peck, Hendron y Mohraz (1972) y Mohraz (1973), para varias condiciones de carga, demuestran que el revestimiento se comportaría como perfectamente flexible a cargas que causen distorsiones o cambios de la sección transversal, si el grado de flexibilidad es superior a 20. Esto significa que el revestimiento conformaría con las distorsiones impuestas por la roca.

De esta manera se puede estimar las distorsiones experimentadas por el túnel revestido, calculándose las distorsiones para un túnel no revestido.

Considerando que las cargas debidas a los sismos involucran ondas de corte, las mismas que primordialmente cambian la estructura de los elementos de la masa rocosa, sin cambios significativos de la tensión efectiva promedio, el grado de flexibilidad del túnel tiene poca influencia sobre el comportamiento real del túnel.

4.1 BORJA

4.1.1 Consideraciones Generales

El sitio de presa Borja, se halla ubicado en el Río Quijos, en el km 105+700, aproximadamente a 1,0 km aguas abajo de la confluencia

ANEXO II - GEOLOGIA, SISMOLOGIA Y MECANICA DE SUELOS

de los Ríos Quijos y Cosanga (ver Lámina N° HS/IA-442-GM-067). La población más cercana es Borja, localizada a 2,2 km en línea recta. Actualmente no existen caminos de acceso transitables por vehículo automotor hasta el sitio de presa, sino únicamente un camino de herradura. El paso del río se lo efectúa por medio de un cable localizado aguas abajo del eje de la presa.

La altura máxima de presa de escollera proyectada es de 206 m, la que llega a la cota 1.823 m.s.n.m. y su longitud es de 2.232 m. Se contempla la construcción de un aliviadero de superficie, de un túnel y de una casa de máquinas exterior.

Los volúmenes de material requeridos para la construcción de la presa y obras adicionales son:

- Material impermeable: $1.451 \times 10^3 \text{ m}^3$
- Material para enrocado: $27.393 \times 10^3 \text{ m}^3$
- Material para filtros y 32.970×10^3
material para transición: $2.967 \times 10^3 \text{ m}^3$
- Materiales de rip-rap: $659 \times 10^3 \text{ m}^3$
- Agregado para hormigón: $152 \times 10^3 \text{ m}^3$

Se han realizado tres tipos de trabajos que han ayudado a decifrar las características geológico-geotécnicas del sitio de presa:

- . Mapeo geológico escala 1:5.000, de una área aproximada de 3 km^2

ANEXO II - GEOLOGIA, SISMOLOGIA Y MECANICA DE SUELOS

- Investigaciones geofísicas de sísmica de refracción y de resistividad por el método SEV (sondeos eléctricos verticales).

Se efectuaron un total de 2.442 km de líneas de refracción sísmica y 6 SEV.

- Excavación de 13 trincheras, 7 en la margen izquierda y 6 en la margen derecha.

Cabe anotar que tanto las investigaciones geofísicas como las excavaciones están localizadas aguas abajo del sitio de presa finalmente seleccionado, en base al levantamiento topográfico de campo.

Sin embargo la variación de las condiciones geológicas entre los dos sitios no es significativa, razón por la cual los datos obtenidos de las investigaciones permiten determinar las condiciones geológicas del nuevo emplazamiento.

4.1.2 Geología del Sitio

La zona elegida para el emplazamiento de la presa se presenta como un valle amplio, formado por la erosión del río en épocas pasadas. Actualmente la forma del valle es asimétrica. El flanco derecho está constituido por un talud bastante empinado (55°) mientras que el flanco izquierdo está constituido por dos niveles de terrazas

ANEXO II - GEOLOGIA, SISMOLOGIA Y MECANICA DE SUELOS

aluviales, relativamente planas, con un ancho promedio de 350 m, que terminan en un sector bastante empinado, que con una inclinación de 35°, avanza hasta la cota 1.770 m.s.n.m. en donde se inicia una penillanura disecada por pequeñas quebradas.

Las terrazas aluviales están dispuestas a diferentes niveles. La más antigua alcanza la cota 1.710 m.s.n.m y la más moderna 1.650 m.s.n.m. Actualmente el Río Quijos continua su acción erosiva, especialmente en el talud de la margen derecha, a cuyo pie se encuentra el cauce actual.

La geología del sitio es presentada en la Lámina N° HS/IA-442-GM-068.

En la zona de la presa y obras anexas se encuentran los siguientes tipos de rocas:

Depósitos del sustrato: aglomerados, brechas volcánicas y lavas.

Depósitos de cobertura: aluviales contemporáneos, terrazas aluviales modernas, terrazas aluviales antiguas, coluviones, suelo residual.

Los aglomerados (Vra) están localizados en la margen derecha a lo largo de todo el sector estudiado. Se tratan de depósitos formados por fragmentos y matriz.

ANEXO II - GEOLOGIA, SISMOLOGIA Y MECANICA DE SUELOS

Los fragmentos van de redondeados a subangulosos, con dimensiones predominantes de 0,20 - 0,30 m. Están compuestos de material volcánico tipo andesítico-basáltico en donde se destacan los cristales de plagioclasa. Microscópicamente se determinó que se trata de una roca hipocristalina, con textura politaxítica y microestructura porfírica. Los fenocristales son de plagioclasa e hipers-tena.

La matriz está compuesta por microlitos de plagioclasa y vidrio volcánico relleno los intersticios. Como minerales accesorios se determinaron magnetita y limonita (Apéndice III).

Los fragmentos se caracterizan porque al meteorizarse adquieren un tono rojizo, perdiendo a la vez consistencia.

La matriz es granulométricamente limosa y genéticamente tobácea. Cuando está fresca tiene un tono gris claro, pero fácilmente se meteoriza adquiriendo un tono rojizo.

El conjunto cuando está fresco es fuertemente cementado, compacto, estable, sin fracturación visible y puede presentar taludes verticales. Se meteoriza dando un tono rojizo (tanto la matriz como los fragmentos) perdiendo casi todas las características iniciales, es decir se vuelve menos duro -la punta del martillo se introduce fácilmente-, poco estable, menos cementado y aparentemente

ANEXO II - GEOLOGIA, SISMOLOGIA Y MECANICA DE SUELOS

permeable -en el tiempo de la investigación existía un clima lluvioso y sin embargo estos aglomerados se encontraban relativamente secos (no saturados).

El espesor del tramo meteorizado, en base a los estudios geofísicos, se estima en 10 a 15 m.

Lavas y brechas volcánicas indiferenciadas ($Vr\alpha$), se encuentran asociadas íntimamente, razón por la cual, en el mapa, no se las ha diferenciado.

Las brechas se encuentran subyaciendo a las lavas y afloramientos típicos existen tanto en la margen izquierda, en el sector donde termina la terraza aluvial, como en la margen derecha, en la cota 1.680 m.s.n.m.

Generalmente, la litología de los fragmentos está asociada con la del flujo de lava suprayacente y en general es de tipo andesítico o andesítico-basáltico. El tamaño de los fragmentos va aumentando a medida que se acerca al flujo hasta adquirir dimensiones de hasta 1,0 m.

El conjunto se presenta con fragmentos angulosos en una matriz tobácea. Cuando están frescos son bastante competentes y cuando están meteorizados pierden en poco grado su competencia. El conjun-

ANEXO II - GEOLOGIA, SISMOLOGIA Y MECANICA DE SUELOS

to se presenta aparentemente impermeable ya que se identificaron algunas pequeñas cascadas que pasan por encima de las lavas y brechas sin existir infiltración.

Las lavas ocupan preferentemente la margen derecha, existiendo un pequeño afloramiento en la margen izquierda.

En la margen izquierda se encuentran, en el extremo norte del valle, en forma de flujos intercalados con brechas. Se tratan de rocas de color gris, textura porfirítica y estructura compacta. Los fenocristales son de maficos predominantemente y plagioclasas. La descripción microscópica determinó que se tratan de andesitas basálticas. Otro flujo se halla posiblemente en el risco formado a lo largo de la margen izquierda, sobre la terraza aluvial antigua, y que actualmente se halla cubierto por depósitos coluviales. Fue determinado por las investigaciones geofísicas y comprobado con un afloramiento que está fuera del mapa, en la margen izquierda del Quijos antes de su confluencia con el Cosanga.

En la margen derecha se determinaron 3 flujos de características similares y localizados entre los aglomerados volcánicos. El primero se encuentra en el cauce actual del Río Quijos, siendo los afloramientos esporádicos y mejor expuestos cuando el río presenta caudales bajos. El segundo flujo se halla en la cota 1.700 m.s.n.m. y el tercero en la cota 1.800 m.s.n.m.

ANEXO II - GEOLOGIA, SISMOLOGIA Y MECANICA DE SUELOS

Se tratan de rocas efusivas tipo andesítico de color gris cuando están frescas y con tonos rojizos cuando están meteorizadas. Tienen textura porfirítica y estructura compacta. Existen fenocristales de plagioclasa y maficos predominando los primeros, a diferencia del flujo de la margen izquierda. La potencia de los flujos varía de 20 a 30 m y tienen una pequeña inclinación (10°) hacia el noroeste.

El estudio microscópico determinó que se trata de una andesita con textura porfírica y microestructura fluidal. Los fenocristales son de plagioclasa hiperstena y augita. La matriz está compuesta de microlitos subhedrales de plagioclasa y vidrio volcánico. Como accesorios se encuentra magnetita (Apéndice III).

A lo largo de la margen izquierda, hasta la cota 1.710 m.s.n.m., se localiza una terraza aluvial antigua (Qta). Se trata de depósitos conformados preferentemente por bloques y grava redondeada, existiendo en menor proporción arena. El conjunto se halla medianamente cementado conservando sus características permeables. Se cree que no alcance una potencia mayor a los 20-25 m.

Terraza aluvial moderna (Qtm) se encuentra localizada en la parte baja del valle, en la depresión originada por la acción erosiva-acumulativa del río. La mayor superficie se encuentra en la margen izquierda, aunque existen vestigios de esta terraza en la margen derecha.

ANEXO II - GEOLOGIA, SISMOLOGIA Y MECANICA DE SUELOS

Está conformada por rodados redondeados a semiangulosos de diferente composición mineralógica. El diámetro máximo de los rodados alcanza cerca de 2,0 m, existiendo de todo tamaño, predominando entre ellos las gravas. Estos rodados se encuentran débilmente cementados por grava fina y arena. En la parte superior de la terraza se han desarrollado suelos limo-arcilloso los mismos que saturados han dado lugar a la formación de pequeños pantanos. La potencia de esta terraza se estima en 25-30 m.

Suelos residuales (Qr), se encuentran ocupando la mayor parte del área estudiada, es decir todo lo que corresponde a la peniplanicie de la parte alta de la margen izquierda. Están conformados por depósitos limo-arcillosos con bloques esporádicamente distribuidos. El conjunto se halla medianamente compactado, y aunque se encuentra saturado en la parte superficial, es bastante estable, como se puede observar en los cortes naturales o artificiales. La potencia máxima estimada por las investigaciones geofísicas, es del orden de los 50 m.

Los depósitos coluviales (Qc) se encuentran cubriendo los flancos del valle. Por su pequeño espesor, no se lo ha representado en el mapa geológico, Está conformado por material heterogéneo, consistente en una mezcla caótica de arcillas, limos y bloques. Se encuentra con mínima cohesión y en taludes excavados su comportamiento es inestable.

ANEXO II - GEOLOGIA, SISMOLOGIA Y MECANICA DE SUELOS

La potencia en la margen derecha es despreciable, existiendo en mayor proporción en la margen izquierda.

En lo que respecta a las estructuras geológicas, el único tipo de roca en el área que permite la apreciación de estructuras son las lavas que afloran en ambos márgenes del valle, aún cuando la mayor parte de los afloramientos son inaccesibles.

Las lavas presentan una disyunción primaria de enfriamiento de tipo columnar, que tienen dimensiones de hasta 1 m por columna. Este tipo de disyunción se orienta, en general, verticalmente. Un segundo tipo de disyunción es horizontal con una mayor frecuencia ya que se disgregan en "Lajas" de 5 a 10 cm de espesor.

El diaclasamiento en las lavas es también bastante desarrollado, existiendo dos direcciones predominantes: la primera, aproximadamente norte-sur y la segunda este-oeste, con ángulos que varían hasta la vertical. En los afloramientos expuestos se nota un espaciamiento predominante de 5 a 10 cm y más esporádicamente de 20 a 30 cm.

Como resultado de las investigaciones geofísicas se establece la posibilidad de la existencia de una falla bajo el cauce del río, expresado en un cambio lateral de velocidades de propagación de las ondas longitudinales.

ANEXO II - GEOLOGIA, SISMOLOGIA Y MECANICA DE SUELOS

Las investigaciones geofísicas se llevaron a cabo en el sitio inicialmente escogido para el emplazamiento de la presa y obras anexas, o sea en el km 105+600, aproximadamente 100 m aguas abajo del eje definitivo.

Se realizaron dos tipos de investigaciones:

- Perfiles de sísmica de refracción, totalizando 2.242 km.
- Sondeos eléctricos verticales -SEV, en número de 6 y ubicados en la intersección de las líneas sísmicas, con el objeto de tener un control en estos sitios.

Las conclusiones a que se llegó, como resultado de estas investigaciones constan en el Apéndice I.

Adicionalmente se presenta una interpretación geológica de las investigaciones de geofísica en las Láminas N° HS/IA-442-GM-070 y 071.

Con el objeto de tener un conocimiento más claro de la geología del sitio se llevó a cabo la excavación de 13 trincheras -7 en la margen izquierda y 6 en la derecha- cuya ubicación y registros constan en la Lámina N° HS/IA-442-GM-075.

La representación gráfica de las trincheras se las hizo usando el método de "abatimiento".

ANEXO II - GEOLOGIA, SISMOLOGIA Y MECANICA DE SUELOS

La información obtenida de estas excavaciones ha servido sobre todo para establecer las características del material de cobertura y las condiciones de alteración de las rocas in situ.

Para una presa de escollera se deben tomar en cuenta las siguientes consideraciones geotécnicas:

- . Apoyo del Núcleo. Se deben remover totalmente los siguientes materiales: depósitos aluviales actuales (los del cauce actual), depósitos aluviales terrazados modernos y antiguos y roca alterada (remoción parcial).
- . Apoyo a los Espaldones. Se deberá efectuar una remoción total del material aluvial actual, y una remoción de aproximadamente 5 m a lo largo de toda la superficie en donde vaya apoyada la presa.

Geotécnicamente se puede concluir que:

- Geomorfológicamente el valle se presenta asimétrico, con fuerte desarrollo areal de los depósitos coluviales terrazados en la margen izquierda.
- Geológicamente el estribo derecho se presenta con mejores características que el izquierdo. Hay que prestar especial atención

ANEXO II - GEOLOGIA, SISMOLOGIA Y MECANICA DE SUELOS

al espesor y características de los depósitos aluviales de la margen izquierda.

- Durante el mapeo geológico superficial no se han detectado problemas estructurales importantes. Habría que comprobar la posible existencia de la falla por el cauce del Río Quijos, la misma que se presume por los resultados de las investigaciones geofísicas.

4.1.3 Geología del Túnel de Desvío y Aliviadero

Tanto el aliviadero como los dos túneles de desvío se hallan localizados en la margen derecha, la misma que ofrece mejores condiciones geológicas-geotécnicas para la construcción de estas obras (Lámina N° HS/IA-442-GM-069).

El flanco derecho, donde están localizadas estas obras se halla constituido por aglomerado volcánico con intercalaciones de flujos de lava.

Las características litológicas particulares en donde se emplazarían estas obras son las siguientes:

Aliviadero

El vertedero, con compuertas, iría cimentado sobre un flujo de lava.

ANEXO II - GEOLOGIA, SISMOLOGIA Y MECANICA DE SUELOS

El resto de la obra se construiría sobre aglomerado volcánico, a excepción del deflector que estaría parcialmente cimentado sobre el flujo de lava inferior.

Túneles de Desvío

Tanto las obras de toma como la mayor parte de los dos túneles proyectados serían construidos en el aglomerado volcánico. Los portales de salida y los tramos adyacentes de los túneles irían en un flujo de lava.

En las lavas se ha desarrollado un diaclasamiento más o menos intenso como se ha indicado anteriormente.

Los aglomerados se presentan, en general, masivos y sin fracturación visible.

El material que deberá ser excavado para llegar a la cota de cimentación del aliviadero está constituido en parte por lava y fundamentalmente por aglomerado volcánico.

Aparte del material meteorizado cercano a la superficie, la excavación en su mayor parte deberá efectuarse con dinamita.

El aglomerado volcánico por el que atraviezan los dos túneles de

ANEXO II - GEOLOGIA, SISMOLOGIA Y MECANICA DE SUELOS

desvío, a esa profundidad debe hallarse fuertemente cementado, por lo que su excavación deberá efectuarse con ayuda de dinamita.

Dadas las características del material que será excavado y del que servirá para la cimentación de estas obras no se espera que existan problemas de consideración. Filtraciones de agua podrán encontrarse en el flujo de lava y en su parte inmediatamente suprayacente debido al diaclasamiento existente en las lavas.

4.1.4 Geología de la Casa de Máquinas

Las obras involucradas en la generación de energía se hallan localizadas en la margen derecha. Estas obras constan de: toma, túnel de aducción, chimenea de equilibrio, túnel de presión y casa de máquinas superficial. El túnel de aducción está en la cota 1.725 m y la casa de máquinas (eje del distribuidor) en la cota 1.627 m.

Las características litológicas y estructurales generales son las mismas descritas en el ítem 4.1.2 ya que las obras se hallan localizadas en el mismo flanco derecho. Particularizando las litologías de los diferentes elementos que constituyen las obras de generación eléctrica tendríamos la siguiente situación: (Lámina N° HS/IA-442-GM-069)

- Las obras de toma se cimentarían sobre el aglomerado volcánico y parcialmente sobre lavas.

ANEXO II - GEOLOGIA, SISMOLOGIA Y MECANICA DE SUELOS

- . El túnel de aducción se excavaría en aglomerado volcánico con la posibilidad de encontrar lavas en el piso.
- . La chimenea de equilibrio y el túnel de presión estarían localizados en el aglomerado volcánico.
- . La casa de máquinas se cimentaría sobre un flujo inferior de lava y parcialmente sobre material aluvial.

En lo que se refiere a las condiciones de fundación tanto el aglomerado volcánico fresco como la lava se presentan competentes y no ofrecerían problemas para que en estos materiales se realice el apoyo de las obras anteriormente descritas.

4.1.5 Geología del Embalse

El área de embalse se encuentra situada en los valles de los Ríos Cosanga y Quijos, abarcando hasta la cota 1.820 m. En estos valles se pueden diferenciar zonas de pendientes fuertes a lo largo del Río Cosanga y aguas abajo de la unión de este río con el Quijos, hasta el sitio de presa. Estas pendientes están constituidas por rocas volcánicas macizas. En el Río Quijos, aguas arriba de su unión con el Cosanga, se pueden apreciar dos tramos aislados entre sí y ubicados en ambas márgenes, con pendientes fuertes. Estos tramos coinciden con la aparición de un flujo de lava del volcán

ANEXO II - GEOLOGIA, SISMOLOGIA Y MECANICA DE SUELOS

Antizana. La Lámina N° HS/IA-442-GM-072 indica los principales aspectos geológicos del área del embalse.

Una unidad geomorfológica importante es la planicie ubicada en la margen izquierda del Río Quijos, parte de la cual sería aprovechada como área de préstamo para arcillas y constituida de suelos residuales. Una semiplanicie de características semejantes se encuentra en los alrededores de la población de Baeza.

El valle fluvial por el cual corre el Río Quijos ha sido parcialmente rellenado de aluviones y en menor cantidad de coluviones, dando lugar a la aparición de terrazas a lo largo del valle.

Los afluentes a los Ríos Cosanga y Quijos son pequeños, con excepción de la quebrada Honda, ubicada en la margen izquierda del Río Quijos, 300 m aguas abajo de la desembocadura del Río Cosanga.

Dentro del área de embalse han sido reconocidas 8 unidades las cuales serán descritas a continuación.

. Rocas metamórficas de bajo grado; son rocas que pertenecen al cinturón metamórfico de la Cordillera Real. Afloran en la loma que divide los valles fluviales del Cosanga y Quijos. También afloran en la margen derecha del Quijos, al frente de Baeza. Estas rocas metamórficas constituyen un basamento crista-

ANEXO II - GEOLOGIA, SISMOLOGIA Y MECANICA DE SUELOS

lino parcialmente cubierto por rocas volcánicas, depósitos aluviales y coluviales.

Están constituidas fundamentalmente por filitas de color rojo hasta marrón, con pátinas color verde amarillento en los planos de foliación. Estas rocas tienen un brillo sedoso debido a la presencia de sericita, lo cual constituye una guía en el campo para determinar su bajo grado de metamorfismo. Porfiroblastos de minerales no determinados, hasta de 4 mm de largo, son comunes.

Las filitas debido a su naturaleza, son susceptibles a la alteración con mucha facilidad. Los afloramientos que presenta son intensamente fracturados y meteorizados.

Un cuerpo intrusivo se encuentra ubicado en la cola del embalse, en el Río Cosanga, intruyendo a las rocas metamórficas de bajo grado. El contacto no es visible dentro del embalse por estar cubierto con coluviones. La roca que compone este cuerpo intrusivo es de composición intermedia, tipo granodiorita, hipidimórfica granular, de grano medio a fino, aunque estas características texturales y granulares disminuyen hacia el borde la intrusión. El grado de alteración de esta roca es mediano. La frecuencia de fracturación es de aproximadamente 1 m disminuyendo la frecuencia a 2 m aproximadamente hacia el centro del intru-

ANEXO II - GEOLOGIA, SISMOLOGIA Y MECANICA DE SUELOS

sivo. Las diaclasas tienen una orientación media este-oeste con un buzamiento promedio de 50° hacia el norte.

- Los aglomerados y lavas no diferenciados son rocas que se encuentran aflorando en la margen derecha del Río Cosanga y se continúan por la misma margen hacia aguas abajo de la unión de este río con el Quijos. Este grupo de rocas está constituido por aglomerados volcánicos intercalados con lavas. Debido a la posición actual de estos materiales, puede inferirse que su centro de emisión estuvo ubicado al oriente del área.

Los aglomerados están constituidos de una matriz tobácea de composición no determinada, en la que se encuentra incluidos pedazos de rocas volcánicas hasta de 30 cm, siendo muy abundantes los fragmentos de 3 cm de diámetro. El porcentaje de las mismas varía entre 40% y 70% del volumen total de la roca. Las inclusiones son de color negro, redondeadas y generalmente vesiculares. En el presente estudio se efectuó un análisis petrográfico de una inclusión, determinándose que su composición es de andesita basáltica. El aglomerado volcánico es soldado y por lo tanto resistente a la fracturación.

Han sido reconocidos cuatro flujos de lava intercalados en el aglomerado volcánico. El inferior es un flujo de andesita de color gris, según se puede apreciar en el Apéndice III. Esta

ANEXO II - GEOLOGIA, SISMOLOGIA Y MECANICA DE SUELOS

roca aflora a 550 m aguas abajo del eje de presa, presentándose completamente fresca. La fracturación de esta lava tiene una frecuencia de 5 cm presentándose como lascas. El segundo flujo es de una roca volcánica de color gris oscuro y aparentemente, de la misma composición que la lava del flujo inferior. El sistema de fracturación tiene una frecuencia de 1 m y no es planar. El tercer flujo de lava aflora, en estado fresco, en la margen derecha del Río Quijos aguas arriba de la desembocadura de la quebrada Honda y se caracteriza por tener un sistema de diaclasamiento columnar. Un flujo de lava fue reconocido sobre la cota 1800 m.

Las rocas volcánicas se encuentran aflorando en la margen izquierda del Río Quijos y en parte de su margen derecha, bajo Baeza. Están constituidas por lavas y pocos aglomerados volcánicos, provenientes del volcán Antizana. En el presente estudio, dentro del embalse fueron reconocidos tres eventos volcánicos, que en el mapa geológico no pueden ser diferenciados por efectos de escala. El mínimo espesor inferido para esta serie de rocas, es de 100 m. El miembro inferior de este grupo está constituido por brechas volcánicas, las cuales afloran en la margen derecha del Río Quijos, aproximadamente a 1.000 m aguas abajo del sitio de presa. En esta variedad litológica, la matriz está constituida por toba y los fragmentos son de rocas volcánicas de composición aparentemente básica; estas inclusiones en la toba son angulares

ANEXO II - GEOLOGIA, SISMOLOGIA Y MECANICA DE SUELOS

con un tamaño promedio de 15 cm. Estas brechas no son fracturadas y su grado de alteración es casi nulo.

El segundo miembro lo constituye un flujo lávico de andesita basáltica, cuyas características petrográficas se pueden apreciar en el Apéndice III. Esta lava se encuentra fracturada con una frecuencia de 50 cm y debido a sus características fue escogida como roca de cantera. Este flujo lávico se extiende a lo largo del Río Quijos como se puede apreciar en el mapa geológico del embalse. Sobre este flujo lávico se encuentran aglomerados volcánicos, aparentemente menos resistentes que los encontrados en el Río Cosanga.

- Suelos residuales y paleosuelos se encuentran cubriendo una gran área dentro del embalse y las planicies altas fuera de él. La planicie que se extiende en la margen izquierda del Río Quijos, desde la altura de Baeza hasta Borja, está formada por estos materiales. La población de Baeza también está asentada sobre una planicie similar. Estos depósitos están constituidos de arcillas y limos interestratificados, con gravas y arenas en menor cantidad. Generalmente estos materiales finos engloban grandes bloques de rocas metamórficas parcialmente meteorizadas. El color dominante de estos suelos es café claro a café rojizo. Las gravas con las cuales están intercalados, se presentan en estratos lenticulares con espesores promedio de 0,50 m, constituidos

ANEXO II - GEOLOGIA, SISMOLOGIA Y MECANICA DE SUELOS

por fragmentos angulares a subangulares de rocas metamórficas. Bajo estos depósitos fueron encontradas, en el área adyacente al eje de presa, limos orgánicos con troncos de arbustos, lo cual representa un suelo enterrado o paleosuelo.

- Los depósitos coluviales están distribuidos en las zonas de pie de talud y son formados por mezclas heterogéneas de bloques, arenas y limos no consolidados. Su litología depende de la fuente de aporte para estos materiales. Coluviones de gran magnitud están localizados en la margen izquierda del Río Cosanga. La fuente de aporte son fundamentalmente las rocas metamórficas de muy bajo grado ya descritas anteriormente.
- Depósitos aluviales terrazados antiguos ocurren en el valle del Río Quijos y están formados por gravas poco a medianamente consolidadas. Estos depósitos aluviales están distribuidos en terrazas ubicadas en varios niveles sobre el Río Quijos. Estas gravas han sido erosionadas por el drenaje actual del área.
- Depósitos aluviales y terrazados constituyen los aluviones del cauce de los ríos en donde predominan los bloques. Las terrazas presentan un predominio de gravas arenosas no consolidadas.

En cuanto al aspecto estructural, las rocas metamórficas de bajo grado presentan una fisibilidad planar muy desarrollada, la cual

ANEXO II - GEOLOGIA, SISMOLOGIA Y MECANICA DE SUELOS

está definida por la orientación paralela de minerales micáceos.

La foliación de estas rocas, dentro del área de embalse, no es uniforme ya que se encuentra distorsionada por plegamientos y fallas menores. El rumbo promedio, en zonas no perturbada, es N 25° E con buzamientos fuertes hacia el occidente.

Otras estructuras principales en estas rocas, son los pliegues.

En este aspecto la estructura es muy compleja ya que han sido determinados tres sistemas de pliegues. El primer sistema tiene una orientación de N 25° E con un buzamiento ("plunge") de 13°, y se tratan de pliegues cabríos con longitudes de onda de 1 cm; el segundo sistema es de micropliegues que tienen una orientación N 80° E con buzamiento de 70°. El último sistema es de pliegues abiertos con longitudes de onda mayores que 1 m; estos pliegues tienen una orientación promedio de S 20° W y plunge de 10°.

Dentro del área de embalse se encontró únicamente una falla la cual interesa particularmente a las rocas metamórficas; esta falla normal tiene un rumbo de N 60° W y buza con 83° hacia el sur. La zona milonitizada tiene un espesor de 3 m y el área disturbada alcanza a 10 m, aproximadamente, a cada lado de la falla.

Las rocas metamórficas presentan un sistema de diaclasas con un rumbo promedio variando desde N 60° E hasta E-0 y buzamientos parados. Existe un sistema ortogonal al anterior pero de menor importancia.

ANEXO II - GEOLOGIA, SISMOLOGIA Y MECANICA DE SUELOS

En las rocas volcánicas los diaclasamientos son debidos al enfriamiento de la lava, encontrándose disyunciones de tipo columnar en las lavas de la margen derecha del Río Quijos, 300 m aguas abajo de la desembocadura del Cosanga. Diaclasas subhorizontales del tipo laja han sido observadas en las lavas que afloran en la margen derecha del Río Quijos, 1.5 km aguas abajo de la desembocadura del Cosanga. Los aglomerados volcánicos no presentan diaclasamiento.

En cuanto a la estanqueidad, sin tomar en cuenta los depósitos de cobertura, aluviales modernos y terrazados, las rocas del sustrato en el área del embalse no presentan problemas de filtraciones primarias. Filtraciones secundarias pueden producirse a través de los planos de diaclasamiento o foliación, las mismas que serían limitadas y no incidirían en la operación del embalse.

Los depósitos de cobertura y los aluviones, tanto actuales como terrazados, por sus características granulométricas y de compactación deben ofrecer facilidad para que se produzcan filtraciones, las mismas que se desarrollarían solamente hasta las rocas del sustrato.

En general, la zona que abarca el embalse no presenta problemas importantes de estabilidad de taludes.

La zona más propensa a deslizamientos es la ocupada por rocas de

ANEXO II - GEOLOGIA, SISMOLOGIA Y MECANICA DE SUELOS

bajo grado de metamorfismo con taludes parados. Dentro del embalse no se han determinado estos deslizamientos pero si se les ha identificado en pequeñas proporciones en la carretera Baeza-Chaco, aguas abajo del sitio de presa. Afloramientos de este tipo de rocas se les han encontrado tanto en la margen derecha como izquierda del Río Quijos antes de su confluencia con el Cosanga.

Otra zona potencialmente favorable de los deslizamientos es aquella conformada por taludes parados en la margen derecha del Quijos, luego de su confluencia con el Cosanga. Los deslizamientos en esta zona son unicamente del material de cobertura, por lo que no alcanza mayores volúmenes hecho comprobado en un deslizamiento ocurrido en la margen derecha, aguas abajo del sitio escogido para la presa.

Los deslizamientos que podrían producirse en los materiales coluviales no serían de consideración ya que su potencia es limitada.

4.1.6 Materiales de Construcción

a. Investigaciones de Campo

- El área de préstamo de material arcilloso impermeable se halla en la planicie localizada en la margen izquierda del valle, a 1,5 km de distancia en línea recta del eje de la presa. La zona

ANEXO II - GEOLOGIA, SISMOLOGIA Y MECANICA DE SUELOS

está cruzada por la carretera Baeza-El Chaco; no existe camino de acceso desde esta área hasta el sitio de presa.

Se considera este material como un suelo residual, probablemente de filitas.

El área fue investigada por medio de pozos, y barrenos manuales los mismos que sirvieron tanto para la cubicación como para la obtención de muestras que fueron enviadas al laboratorio.

En total se excavaron 4 pozos (1 muestreado), 18 barrenos de investigación y 11 barrenos para muestreo, cuya ubicación y características están en la Lámina N° HS/IA-442-GM-073.

En total se tomaron 26 muestras de las cuales se realizaron ensayos geotécnicos de laboratorio, cuyo detalles y resultados son presentados en el Apéndice II.

El área investigada tiene una superficie aproximada de $1 \times 10^6 \text{ m}^2$. La profundidad de explotación se estima mínimo en 4 m, lo que daría un volumen de material de $4 \times 10^6 \text{ m}^3$. Cabe anotar que el volumen del material puede aumentarse, ya sea ampliando el área de explotación o explotando a mayor profundidad (en cortes naturales la potencia visible alcanza a 10-12 m).

ANEXO II - GEOLOGIA, SISMOLOGIA Y MECANICA DE SUELOS

La investigación para gravas y material granular se concentró en el área de Salahonda, localizada en la margen derecha del Río Quijos, cuyo punto más cercano está a 2,5 km aguas abajo del eje de la presa. Trátase de terrazas aluvionales.

Actualmente existe acceso a través de dos puentes colgantes peatonales. Caminos carrozables hacia el área y desde el área hasta la presa no existen.

La investigación consistió en la excavación y muestreo de pozos y trincheras. Además se aprovecharon algunos cortes naturales existentes en la margen del río para obtener muestras.

En total se excavaron 5 pozos, 4 trincheras y muestreo de 2 cortes naturales.

Se recolectó un total de 5 muestras, cuya ubicación y características se encuentran en la Lámina N° HS/IA-442-GM-074.

Los resultados numéricos de los ensayos de laboratorio son presentados en el Apéndice II.

El área tiene una superficie de $2,5 \times 10^6 \text{ m}^2$ y una potencia aprovechable de explotación de 5 m, lo que nos daría un volumen de $12,5 \times 10^6 \text{ m}^3$.

ANEXO II - GEOLOGIA, SISMOLOGIA Y MECANICA DE SUELOS

Cabe anotar que la potencia del material de cobertura no utilizable va aumentando hacia el este, lográndose un volumen total de material estéril de aproximadamente $10 \times 10^6 \text{ m}^3$.

Adicionalmente al estudio de las gravas aluviales de Salahonda, se llevó a cabo la investigación de una área de cantera, localizada en la margen izquierda, a 1,0 km aguas abajo del eje de la presa.

Como ya se indicó anteriormente, no existe camino de acceso hasta esta zona. La construcción de un camino desde el sitio de cantera hasta la presa no presenta ningún inconveniente ya que la distancia es corta y el terreno plano.

La cantera está constituida de rocas efusivas masivas, de composición media y brechas volcánicas fuertemente cementadas.

Se tomó una muestra cuya ubicación viene dada en la Lámina N° HS/IA-442-GM-074.

El volumen en material existente es suficiente para los fines requeridos, siendo que el área de explotación deberá ser mejor definida en estudios futuros.

ANEXO II - GEOLOGIA, SISMOLOGIA Y MECANICA DE SUELOS

b. Investigaciones de Laboratorio

- . Para esta fase de pre-factibilidad se programaron ensayos de caracterización, compactación, permeabilidad y de dispersión.

Los ensayos de caracterización (humedad natural, granulometría, límites líquido y plástico y peso específico de los granos) fueron ejecutados según las normas ASTM. Los de compactación fueron hechos de acuerdo al método Proctor Standard del ASTM, más sin previo secado total de la muestra y sin reutilización del suelo.

Los ensayos de dispersión de las arcillas fueron orientados por métodos desarrollados por el Dr. James L. Sherard et. al. (1972) para el "Soil Conservation Service", USA.

Los ensayos de permeabilidad fueron ejecutados por el método de carga variable para los suelos arcillosos y por el método de carga constante para las arenas, con saturación previa de los cuerpos de prueba.

- . El material del área de préstamo en la margen izquierda del valle es una arcilla limo-arenosa, color marrón claro o café claro, plástica, no dispersiva, de origen residual.

ANEXO II - GEOLOGIA, SISMOLOGIA Y MECANICA DE SUELOS

Del gráfico de plasticidad presentado en la Lámina N° HS/IA-442-GM-073 se observa la gran variación de los valores del límite líquido, entre 35% y 155%. Todos los puntos están situados abajo de la línea A, un hecho común para suelos tropicales de alteración in-situ de rocas, en regiones húmedas.

La humedad natural del material es muy alta, normalmente entre 70% y 100% con valores extremos de 30% y 150%.

Las humedades óptimas, obtenidas para las muestras sometidas a ensayos de compactación, variaron de 35% a 55%, significando que la diferencia entre las humedades naturales y las óptimas de esas muestras varían de 25% a 80%, una diferencia muy difícil de reducir, técnica-económicamente, para la construcción del núcleo.

Las densidades secas máximas de esas mismas muestras varían entre 1,04 y 1,28 g/cm³.

Los cuerpos de prueba para los ensayos de permeabilidad fueron moldeados en la humedad óptima y con la densidad seca igual a 98% de la densidad seca máxima del ensayo de compactación. En estas condiciones se obtuvo coeficientes de permeabilidad entre $1,2 \times 10^{-5}$ cm/s y $2,4 \times 10^{-5}$ cm/s.

ANEXO II - GEOLOGIA, SISMOLOGIA Y MECANICA DE SUELOS

- El material del área de Salahonda es una grava arenosa con guijarros y con una cantidad de limo y arcilla variando entre 0 y 30%.

En partes aisladas donde la grava tiene menos de 5% de finos, el material es adecuado para los espaldones. Sin embargo, la cantidad probablemente es insuficiente para la construcción de los espaldones de la presa y no es económicamente factible la extracción industrial de estas partes aisladas. Por causa de esto y de la posible inundación del área por el embalse de la presa a ser construida en El Chaco aguas abajo de Borja, se prevé actualmente el empleo de enrocamiento proveniente de la cantera, localizada a 1 km aguas abajo de la presa, para la construcción de espaldones, transiciones y filtros.

4.2 EL CHACO

4.2.1 Consideraciones Generales

El sitio escogido para la presa El Chaco está localizado en un ancho valle del Río Quijos, con un fuerte encañonado en su parte central, a la altura de la población del mismo nombre (ver Lámina N° HS/IA-442-GM-067).

ANEXO II - GEOLOGIA, SISMOLOGIA Y MECANICA DE SUELOS

El acceso por la margen izquierda es realizado por la carretera Quito-Lago Agrio y en la margen derecha por caminos de herradura.

Se prevé la construcción de una presa de escollera de 160 m de altura, la mayor parte de la cual estaría apoyada en los aglomerados volcánicos de la parte alta del valle mientras que en la zona central el apoyo sería sobre las lavas andesíticas.

Los volúmenes de material requerido para la construcción de la presa y obras adicionales son:

- | | |
|--|---------------------------|
| - Material impermeable: | 1.022.000 m ³ |
| - Material para enrocado: | 14.233.000 m ³ |
| - Material para filtros y transiciones | 2.463.000 m ³ |
| - Material de rip-rap: | 529.600 m ³ |

4.2.2 Geología del Sitio de Presa

Durante los estudios del sitio de presa se efectuaron los siguientes trabajos:

- Levantamiento geológico del área de presa, escala 1:5.000 cubriendo una extensión de 4 km².

ANEXO II - GEOLOGIA, SISMOLOGIA Y MECANICA DE SUELOS

- Elaboración de cuatro trincheras con fines litológicos, con una longitud total de 225 m.
- Estudios de sísmica de refracción, a lo largo de ocho líneas en las dos márgenes del río, con una longitud total de 6.710 m.
- Ejecución de siete sondeos eléctricos de resistividad.

El área de la presa es caracterizada por un encañonado del Río Quijos, con paredes casi verticales (30 m) en ambas márgenes. Estas paredes están constituidas por andesitas columnares que por sus características de mayor resistencia a la erosión han permitido la existencia de una garganta con 30 m de ancho, aproximadamente.

A continuación la pendiente pasa a unos 50-60° hasta las cotas 1.560 y 1.580 m.s.n.m., en las márgenes derecha e izquierda, respectivamente, donde se observa en forma casi continua los aglomerados volcánicos.

A partir de este punto el valle es amplio, casi horizontal hacia ambos lados (hasta la cota 1600) y más pantanoso en la margen derecha.

El ancho total del valle es alrededor de 1.400 m, limitado por ele-

ANEXO II - GEOLOGIA, SISMOLOGIA Y MECANICA DE SUELOS

vaciones constituidas de aglomerados volcánicos en la margen derecha y por coluviones sobre rocas cretácicas en la izquierda.

En el área del sitio de presa seleccionado se tiene una secuencia de rocas que van desde el Jurásico hasta formaciones recientes, encontrándose una variedad de rocas volcánicas y sedimentarias metamorfizadas. Los afloramientos de esas rocas son escasos por el hecho de estar cubiertas, casi en su totalidad, por los aglomerados volcánicos.

Las investigaciones geofísicas fueron de gran valor para aclarar las relaciones estratigráficas.

La Lámina N° HS/IA-442-GM-076 presenta la geología del sitio de presa.

Las rocas más antiguas en el área de la presa pertenecen a la formación Misahualli (JK). Un solo afloramiento fue detectado en el sector del vertedero pero se presume que continúa a lo largo y ancho del valle, en la margen derecha, por debajo de los aglomerados volcánicos.

Estas rocas se encuentran totalmente silicificadas; son de difícil identificación pero por su localización geográfica y correlación con sectores cercanos donde es claramente definida la formación

ANEXO II - GEOLOGIA, SISMOLOGIA Y MECANICA DE SUELOS

Misahualli (en frente a la desembocadura del Río Oyacachi, en el Río Pacayacu), podría clasificarse como pertenecientes a esta formación.

Petrográficamente la roca ha sufrido un cambio casi total, desapareciendo su composición original y solamente se puede observar una matriz afanítica compuesta por sílice, con diseminaciones de pirita.

La roca es bastante dura, con un sistema de fracturas difícil de definir por no existir direcciones predominantes.

Podría pensarse en la existencia de un intenso fallamiento en ese sector pero que no fue posible comprobarse por la presencia de depósitos más nuevos sobrepuestos.

La Formación Napo (Kn) ocurre 700 m aguas arriba del eje de presa, en la margen izquierda y está constituida por filitas negras, producto de un metamorfismo de muy bajo grado sobre las lutitas negras, características de esta formación.

Las rocas se presentan medianamente alteradas, finamente laminadas, con zonas silicificadas y con bandeamiento a cada 2 cm. Intercalaciones arenosas, de 2 m de espesor, de grano fino y bien cementados

ANEXO II - GEOLOGIA, SISMOLOGIA Y MECANICA DE SUELOS

son observables.

El contacto de la base de esta formación no fue observado por estar cubierto en parte por el aluvial del río, y en parte por los aglomerados volcánicos. No se conoce, por lo tanto, si el contacto es normal con las areniscas Hollín (no detectadas en el área) o por fallamiento con las rocas volcánicas de la Formación Misahualli.

El contacto superior tiene dos formas de ocurrencia: el primero es una discordancia angular entre las filitas y el aglomerado volcánico suprayacentes que se han depositado sobre una superficie de erosión y la segunda, algunas decenas de metros al sur de la anterior, es un contacto fallado con las filitas rojas calcáreas.

Por correlación con los afloramientos de aguas arriba, en el área del embalse y las bajas velocidades indicadas por la sísmica de refracción, se estima que esas filitas siguen por debajo de los aglomerados, en dirección aproximada N-S y con buzamientos de 60 a 70° hacia el oeste.

Estratigráficamente sigue la formación Tena (Kh); constituida originalmente por arcillolitas rojas, masivas, pobremente estratificadas, casi han desaparecido en este sector al haber transformado en

ANEXO II - GEOLOGIA, SISMOLOGIA Y MECANICA DE SUELOS

filitas rojas, finamente laminadas y con una orientación N-S a N 5° E y buzamientos entre 60 y 75° W. Está en contacto fallado con las filitas negras de la formación Napo, por medio de una falla inversa del mismo rumbo que las filitas y buzamientos de 56° E.

Su composición es totalmente arcillosa y en algunos sectores se presenta con alto contenido de carbonatos.

Los aglomerados volcánicos (VRa) representan el elemento más importante dentro del área de la presa, tanto por su extensión y potencia como por sus características morfológicas, cubriendo a las rocas más antiguas. Su gran extensión real es especialmente importante en la margen derecha del Quijos ya que su aporte viene del Este. La base de esta litología es una superficie erosionada sobre las rocas volcánicas jurásicas en la margen derecha y sedimentos cretácicos en la izquierda. La superficie superior es una planicie casi horizontal, constituyendo el relleno del valle.

Los fragmentos de roca son heterogéneos en la composición petrográfica, tamaño y forma; hay fragmentos subredondeados a subangulosos, desde pocos milímetros hasta 1 m ó más. Aunque la composición sea variable, todos los fragmentos son de origen volcánico, predominando las rocas de color negro, rojo y café. Entre los bloques mayores es frecuente encontrar material escoriáceo y vesicular, con poros

ANEXO II - GEOLOGIA, SISMOLOGIA Y MECANICA DE SUELOS

de 0,2 a 0,5 cm de diámetro, a veces relleno de vidrio volcánico.

Entre los aglomerados volcánicos se encuentran, eventualmente, intercalaciones de capas de arenas tobáceas, de grano grueso; son bastante friables y permeables. Estas intercalaciones hacen pensar en un aporte intermitente dentro de una misma época de explosiones, desde los centros de emisión.

Por las características observadas, los aglomerados parecen pertenecer al tipo de "nube ardiente", transportados por el aire desde las fuentes de emisión y depositados rápidamente por gravedad.

Su edad es considerada como Cuaternario inferior (INTECSA) por sus características morfológicas y por la polaridad del magnetismo remanente.

El cauce del río en el área de presa ha sido invadido por coladas de lava ($Vr\alpha$) que por la erosión forman fuertes encañonados de 20 a 30 m de altura, con paredes casi verticales, presentando la característica disyunción columnar.

Se extienden por las dos márgenes del río, desde el sitio previsto para la casa de máquinas hasta unos 700 m aguas arriba del eje de presa, para luego continuar por la margen derecha en el área del embalse. La base de este material está suprayaciendo, en posición

ANEXO II - GEOLOGIA, SISMOLOGIA Y MECANICA DE SUELOS

discordante, los sedimentos cretácicos cerca al nivel del río por lo que se deduce que a lo largo del área de presa, no tendrá una profundidad muy considerable bajo este nivel.

Las lavas son de color gris oscuro a negro, compactas, de estructura vesicular y presentan matriz afanítica con textura porfídica. Los fenocristales son de plagioclasas, piroxenos y vidrio volcánico. El análisis microscópico clasifica esa roca como andesita, basada en la composición de la plagioclasa (Andesina, An 49) y la presencia de hipersteno y augita como minerales esenciales.

El material aluvial (Qa) no es significativo en el área de la presa. Afuera el aluvial del cauce actual del río hay pequeños depósitos de gravas, bloques y arena a 700 m aguas arriba del eje y en el sitio previsto para la casa de máquinas.

Coluviones (Qc) ocurren 200 m aguas arriba del eje de presa en ambos lados del río, justamente donde está ubicada la atagüa. Se compone de bloques angulosos de 0,3 a 1.2 m de diámetro de lavas andesíticas y aglomerados volcánicos de las partes altas, mezclados con arenas, limos y suelo orgánico. El espesor es pequeño (3 m).

Debido a la gran cobertura del material volcánico en casi la totalidad del área, las formaciones más antiguas están enmascaradas,

ANEXO II - GEOLOGIA, SISMOLOGIA Y MECANICA DE SUELOS

siendo restringidos los datos estructurales. Unicamente en dos afloramientos, uno en la margen derecha donde aparece la formación Misahualli a manera de una ventana de erosión y otro en la margen izquierda, 900 metros aguas arriba del eje de presa, donde afloran las rocas cretácicas Napo y Tena, en contacto fallado, fue posible la observación de aspectos estructurales.

Las rocas de la formación Misahualli, en el sector observado, se encuentran afectadas por un sistema de diaclasas N 75° E buzando 60-65° S con espaciamiento entre 0,3 y 0,8 m. Este sistema facilita y acelera la lixiviación por las aguas meteóricas dando un grado de alta alteración a las rocas. Filitas rojas y filitas negras con intercalaciones calcáreas, de las formaciones Tena y Napo metamorfizadas, respectivamente, aparecen en la margen izquierda del río, con una orientación que varía de N-S a N 25° E, buzando invariablemente al oeste con valores entre 50° y 76°, manteniendo así la dirección general de las capas en este sector del valle del Quijos y que continuará probablemente con el mismo sentido debajo del material volcánico.

En el mismo sitio de afloramiento se observa una falla inversa con dirección N 5° E, con buzamiento de 56° E. La zona de falla tiene un espesor variable entre 0,4 y 0,8 m, aumentando en profundidad; no se ha determinado el valor del desplazamiento y unicamente se puede observar a las formaciones Napo y Tena en contacto fallado.

ANEXO II - GEOLOGIA, SISMOLOGIA Y MECANICA DE SUELOS

Aunque se trata de una falla relativamente pequeña, no hay que descartar la posibilidad de que se prolongue hasta el eje de la presa.

Esta falla parece ser más antigua que los depósitos volcánicos que la cubren.

En cuanto a las diaclasas, existe un sistema más o menos perpendicular a la falla con rumbos entre N 65 W y N 80 W y buzamientos de 70° hasta verticales, con una frecuencia entre 0.2 y 0.4 m. Esto, a más de la inconsistencia de las filitas, hacen que estas rocas sean fácilmente disgregables. Sin embargo, este sistema parece extenderse únicamente en una área cercana a la zona afectada por la falla.

Existe otro sistema de diaclasas de menos frecuencia e importancia con rumbo casi paralelo al de la falla - N 30 E; 70° W.

Se realizaron 12 excavaciones, de poca profundidad, a lo largo del valle en la margen derecha, en lo que constituye el área de presa y parte del área de embalse hasta el pueblo de Linares. Invariablemente, luego de atravesar de 0,1 a 0,2 m del suelo vegetal y de 0,6 a 0,8 m de arcilla residual, se encontró el aglomerado volcánico altamente meteorizado. Además se excavaron 4 trincheras, dos en el primer sitio de presa, una en el eje actual

ANEXO II - GEOLOGIA, SISMOLOGIA Y MECANICA DE SUELOS

y otra aguas abajo del eje, con un total de 227 m lineales, para estudios litológicos de las paredes del barranco del Quijos (ver Lámina N° HS/IA-442-GM-078).

Esta investigación confirmó la extensión de los aglomerados volcánicos a lo largo y ancho del valle, presentándose en forma continua desde el tope de las lavas columnares hasta el nivel de la planicie del valle.

El material se encuentra bastante alterado y meteorizado, lo que da un carácter semimpermeable en superficie. Es un conjunto bastante heterogéneo en composición y tamaño, variando desde bloques de más de 1 m de diámetro hasta varios milímetros, de subangulosos a subredondeados. La matriz está alterada en superficie y luego de 2 a 3 m de profundidad se nota compacta y dura.

En el área de la presa y parte del embalse se corrieron ocho líneas de sísmica de refracción con un total de 6.710 m y 7 perfiles VES (ver Apéndice I). Esto contribuyó a aclarar muchos aspectos de carácter geológico y geotécnico, imposibles de ver en toda su magnitud en superficie por estar enmascarados por los aglomerados volcánicos. No se pudo obtener una continuidad en la interpretación, entre las dos márgenes del río, por impedirlo la topografía muy abrupta formada por el encañonado del Quijos en ese sector. Las Láminas Nos. HS/IA-442-GM-079 a 081 presentan la interpretación geológico de los resultados geofísicos.

ANEXO II - GEOLOGIA, SISMOLOGIA Y MECANICA DE SUELOS

La interpretación de los datos geofísicos, a más de contribuir en parte a aclarar la posición estratigráfica ha puesto de manifiesto aspectos geológicos importantes, como:

- . La existencia de un paleorelieve formado por la superficie erosionada de los sedimentos cretácicos y rocas volcánicas jurásicas. En un solo sitio se observa en superficie, en la parte profunda del río, a los aglomerados volcánicos depositados discordantemente sobre los sedimentos cretácicos, mientras que en la margen derecha, a la altura del sitio previsto para el vertedero se observan a los aglomerados volcánicos depositados discordantemente sobre las rocas volcánicas de la formación Misahualli. Se nota una continuidad de esta superficie de erosión, invariablemente cubierta por los aglomerados, en una longitud aproximada de 1.800 m. en sentido E-O a lo ancho del valle. Las pendientes de la superficie de erosión son siempre hacia el este y el mayor espesor de los depósitos volcánicos se encuentran a 700 m, aproximadamente al este del cauce actual del río, donde cambia la pendiente hacia el oeste. El espesor máximo del aporte volcánico, en este sitio, llega a 110 m, lo que hace suponer que éste era el paleocauce del río que posteriormente fue desviado al cauce actual.
- . La existencia de dos zonas de alteración; la primera presenta velocidades muy bajas (250-750 m/s) y corresponde a suelos

ANEXO II - GEOLOGIA, SISMOLOGIA Y MECANICA DE SUELOS

residuales y material muy alterado, en la margen derecha, y a suelos residuales y coluviones en la margen izquierda. Sus potencias varían de 2 a 5 m y en casos aislados llegan a 10-12 m. En esta zona la matriz de los aglomerados ha perdido toda su cohesión estando transformada en arcilla y los bloques de roca fácilmente fragmentables.

Una segunda zona, subyacente se presenta con velocidades entre 875 y 1.420 m/s, medianamente alterada y con espesor sobre 10 y 20 m.

Finalmente se tiene el complejo de aglomerados volcánicos frescos a muy poco alterados, con velocidad promedio de 1.717 m/s, compacto y bien cementado.

Rocas subyacentes; se observó una diferencia notable entre las rocas subyacentes de los dos lados del río. En la margen derecha se tienen rocas de alta velocidad entre 3.750 y 4.200 m/s, lo cual sugiere la presencia de rocas bastante duras y compactas y, que por correlación con los afloramientos se las ha clasificado como rocas volcánicas de la formación Misahualli. En la margen izquierda se tienen rocas con velocidades menores, entre 3.200 y 3.100 m/s, que corresponden a los sedimentos cretácicos en su mayor parte filitas arcillosas.

ANEXO II - GEOLOGIA, SISMOLOGIA Y MECANICA DE SUELOS

El encañonado del río se caracteriza por paredes verticales de lavas andesíticas, con disyunción columnar. Su alta velocidad (3.700 m/s) está dentro del rango de velocidades de la formación Misahualli, en la cual podría, erróneamente, ser incluida. Sin embargo parece evidente que estos flujos de lava están localizados únicamente en el cauce del río, sin extenderse en sentido horizontal.

Finalmente y con el interés específico de investigar la magnitud de los deslizamientos de la margen izquierda, aguas arriba del sitio de presa y cuya extensión areal es considerable, se efectuó la línea sísmica L-CH-7. En ese perfil sísmico se pudo observar únicamente una potencia de 2 a 4 m (máxima de 9 m), con velocidades de 300 m/s, encontrándose inmediatamente debajo, los sedimentos cretácicos de 2.450 m/s.

De las observaciones realizadas en el sitio de presa se puede concluir que no deberán ocurrir problemas geológico-geotécnicos importantes.

La posible existencia de una falla por la margen derecha, enmascarada por los aglomerados volcánicos no afectaría a la presa ya que estaría bajo un gran espesor de material volcánico y en un sitio donde la altura del dique es pequeña.

ANEXO II - GEOLOGIA, SISMOLOGIA Y MECANICA DE SUELOS

Considerando la alternativa de una presa de escollera se recomienda que, para el apoyo del núcleo impermeable, deberá ser removido el material volcánico meteorizado, entre 10 y 20 m de profundidad según los datos geofísicos y 2 a 3 m del aglomerado fresco. Para el apoyo de los espaldones parece ser adecuado prever la excavación del material superficial meteorizado, 15 m en promedio.

El material aluvial del río deberá ser removido totalmente para el apoyo de la presa; sin embargo su volumen no es significativo.

No fue detectada ninguna zona de infiltración o de diaclasamiento intenso que podrían afectar la seguridad de la obra.

4.2.3 Geología de los Túneles de Desvío y de Conducción a la Central

Tanto los dos túneles de desvío como el de conducción a la central, localizados en la margen derecha, presentan un mismo condicionamiento geológico.

La excavación a cielo abierto, antes del portal de entrada del túnel de desvío, incidirá en lavas de andesita basáltica, aglomerado volcánico y una pequeña parte en las filitas.

Las lavas son del tipo intercañón y parecen extenderse a unos 30 m

ANEXO II - GEOLOGIA, SISMOLOGIA Y MECANICA DE SUELOS

en profundidad; la excavación prevista prácticamente eliminaría la presencia de esta roca en los taludes, razón por la cual sus características geotécnicas no tendrían ninguna influencia en la excavación realizada.

En lo que respecta a la voladura de estas rocas deberá ser considerado solamente la existencia de la disyunción columnar, con diaclasas casi verticales, en todas las direcciones y con un espaciamiento entre 20 y 80 cm.

La Lámina N° HS/IA-442-GM-077 presenta los principales aspectos geológicos en el túnel de desvío y conducción a la central.

Las paredes de la referida excavación serán constituidos, primordialmente, por los aglomerados volcánicos. Estas rocas son muy poco fracturadas y no se prevén problemas de estabilidad. En esta etapa de los estudios es válido admitir taludes de excavación de 3 para 1 (vertical- horizontal).

Finalmente, la parte inferior del canal de entrada presentaría filitas negras y rojas, con buzamientos aparentes del orden de 60° hacia aguas arriba. Por la pequeña extensión de estas rocas en los taludes no se esperan problemas de estabilidad.

El túnel de desvío, desde el portal de entrada y por una extensión

ANEXO II - GEOLOGIA, SISMOLOGIA Y MECANICA DE SUELOS

de 280 m, aproximadamente, incidiría en el área de contacto entre los aglomerados volcánicos y las filitas (ver Lámina N° HS/IA-442-GM-077).

Esta condición, desfavorable, es sospechada por las informaciones obtenidas de las líneas L-CH-6 y L-CH-8, de sísmica refracción.

En este sector la base de los aglomerados volcánicos se encuentra alrededor de la cota 1480-1495 m. Esta información debería ser confirmada por perforaciones geológicas ya que se necesita tener un conocimiento detallado de la posición espacial del contacto entre las dos litologías.

Encaso de que el túnel incidiera en los aglomerados volcánicos, alternativa más favorable, el avance podría ser realizado sin dificultades. La roca es muy poco fracturada, no deberá presentar infiltraciones importantes y el entibado y/o pernos de anclaje serían necesarios eventualmente.

Por otro lado, en caso de que el contacto esté en cota más alta, el túnel cortaría las filitas negras y rojas, con buzamientos de 60° en sentido del portal de entrada. Son rocas arcillosas, laminadas y que deberán presentar problemas de estabilidad del techo y paredes, además de eventuales fenómenos de fluencia de material hacia adentro del túnel por el carácter plástico de las rocas.

ANEXO II - GEOLOGIA, SISMOLOGIA Y MECANICA DE SUELOS

Deberá ser previsto el empleo de entibado a pequeño espaciamiento, pernos de anclaje y concreto lanzado para la estabilización de la excavación.

La tercera alternativa para este tramo del túnel sería incidir en el contacto de las dos litologías. Esta es la condición más desfavorable ya que la mala calidad de las filitas estaría aliada a los problemas característicos de los contactos geológicos, como grandes infiltraciones y la presencia de materiales meteorizados (paleo-relieve).

Desde los 280 m hasta los 520 m de la extensión del túnel se prevé la presencia de las rocas de la formación Misahualli, según las evidencias de la sísmica de refracción.

Las rocas características de esa formación son las lavas andesíticas, brechas e ignimbritas; las condiciones de tuneleo son adecuadas debiéndose sin embargo, prever el empleo de pernos de anclaje y/o hormigón lanzado para el control de la caída de bloques a través de las diaclasas y alguna zona de infiltración importante.

Ocasionalmente podrá ser necesario el empleo de entibado, aunque los datos disponibles permitan no considerarlos en esta etapa de los estudios.

ANEXO II - GEOLOGIA, SISMOLOGIA Y MECANICA DE SUELOS

De este punto hasta el final del túnel de desvío y conducción a la central está presente el aglomerado volcánico ya descrito anteriormente.

El túnel de presión corta integralmente a los aglomerados volcánicos. Eventualmente podrá encontrarse intercalaciones de tobas arenosas en el aglomerado.

Debido al carácter del aglomerado volcánico de meteorizarse en superficie cuando está expuesto a la acción del agua, se recomienda revestir los túneles permanentes; el túnel de desvío, a confirmar por estudios futuros, podría no necesitar de revestimiento.

La excavación del canal de salida incidirá en aglomerados volcánicos.

4.2.4 Geología del Aliviadero

El aliviadero está ubicado en la margen derecha de la presa, en los aglomerados volcánicos.

Los aspectos geológicos de esta estructura son presentados en la Lámina N° HS/IA-442-GM-076.

Por los datos obtenidos de la prospección geofísica el espesor del

ANEXO II - GEOLOGIA, SISMOLOGIA Y MECANICA DE SUELOS

aglomerado va aumentando paulatinamente desde el vertedero con compuertas (entre 10 y 20 m), en el primer vertedero auxiliar (35 m), hasta 60 m cerca del deflector.

Se estima entre 8 y 15 m la profundidad de la capa superficial meteorizada. Sigue el aglomerado volcánico fresco, poco fracturado y medianamente competente.

Por debajo del aglomerado se encuentra las rocas de la formación Misahualli, constituida por lavas andesíticas, brechas e ignimbritas.

El aliviadero estaría en casi su totalidad apoyado en esas últimas rocas; la parte final incidiría en los aglomerados. Ambas litologías presentan capacidad de soporte adecuada.

En lo que respecta a las paredes de la excavación se recomienda mantener un talud de 1:1 en la zona superficial de aglomerado volcánico meteorizado y de 3 para 1 (vertical:horizontal) en el aglomerado fresco y 4 ó 5 para 1 en las rocas de la formación Misahualli.

4.2.5 Geología de la Casa de Máquinas

La geología superficial en el sitio previsto para la casa de máquinas presenta un manto de andesita basáltica en la pared del margen

ANEXO II - GEOLOGIA, SISMOLOGIA Y MECANICA DE SUELOS

derecho, desde el nivel del río hasta 20 m de altura, aproximadamente. Hacia aguas abajo desaparece paulatinamente esta roca donde está cubierta por depósitos aluviales terrazados.

La andesita es fresca, dura y el diaclasamiento menos acentuado que en el sitio de la presa.

En contacto con las lavas andesíticas, a niveles superiores, están los coluviones del aglomerado volcánico.

Estos coluviones están constituidos por fragmentos del aglomerado en una matriz arcillosa-limosa y su espesor estimado en 4 m, estando por debajo, probablemente, las lavas andesíticas.

La excavación prevista para la casa de máquinas incidirá principalmente en los aglomerados volcánicos. El talud recomendado para el material coluvial es de 1:1 y en el aglomerado sano de 3:1, pudiendo llegar hasta 4 ó 5 para 1 según las condiciones reales de la roca. Eventualmente podrá ser necesaria la remoción completa de los coluviones para evitar el peligro de derrumbes.

Por las evidencias de superficie, la casa de máquinas estaría apoyada en los aglomerados volcánicos y en las lavas y brechas de la formación Misahualli. Ambas rocas presentan condiciones adecuadas para el apoyo de las estructuras previstas.

ANEXO II - GEOLOGIA, SISMOLOGIA Y MECANICA DE SUELOS

Hay que destacar que el conocimiento geológico actual es limitado al nivel del río (aproximadamente cota 1.473 m), donde se tiene la colada de lava en ambas márgenes y que deben continuar hasta la cota de fundación de la casa de máquinas (1.468 m).

4.2.6 Geología del Embalse

Geomorfológicamente el área del embalse es caracterizada por dos sectores distintos, consecuencia de los factores litológicos y estructurales.

El primer sector, desde el sitio de presa y hasta las cercanías del Río Pacayacu y con una extensión de 5,5 km, el valle se presenta encañonado, con paredes casi verticales de 70 a 80 m de altura. Después de esa elevación el valle es plano y ancho en la margen izquierda mientras la pendiente de la margen derecha es más uniforme. Esta diferencia es debido a que el aporte volcánico ha venido de este a oeste hasta el lecho actual del río, el mismo que corre por el contacto entre estas rocas y los sedimentos cretácicos. Estos sedimentos cretácicos fueron metamorfizados a filitas y por sus características de laminación han propiciado frecuentes deslizamientos en la margen izquierda.

El segundo sector considerado es el valle del Río Quijos desde el Río Pacayacu hasta la cola del embalse en el sitio de Borja, inclu-

ANEXO II - GEOLOGIA, SISMOLOGIA Y MECANICA DE SUELOS

yendo el valle del afluente Sardinas.

Esta área del embalse es caracterizada por un valle amplio, antiguo y cubierto en su mayor parte por material aluvial terrazado, bajos en la margen derecha y altos en la izquierda. En algunos sitios, donde las rocas son más resistentes, se puede observar acantilados profundos como en Salahonda (lutitas calcáreas y calizas de la formación Napo). En el último tramo del embalse, ya cerca de su final, ocurren las lavas de la formación Misahualli lo que provoca un estrechamiento del valle.

Geológicamente, a lo largo del embalse se encuentra casi toda la columna estratigráfica característica del valle del Río Quijos-Coca.

Los afloramientos, sin embargo, son discontinuos por estar las rocas cubiertas por los depósitos modernos - aglomerados volcánicos y aluviones.

Las rocas más antiguas, presentes en el área del embalse son las pertenecientes a la formación Misahualli. Se encuentran desde la unión de los Ríos Quijos y Borja hacia aguas arriba por la margen derecha, formando pendientes fuertes. La roca es totalmente afanítica, masiva, altamente silicificada y de un color gris verdoso.

ANEXO II - GEOLOGIA, SISMOLOGIA Y MECANICA DE SUELOS

Estratigráficamente sigue la formación Hollín, observada en dos afloramientos en los extremos norte y sur de las observaciones limitadas por los Ríos Cauchillo y Pacayacu. Son areniscas margosas, de grano medio a fino, amarillas y con un rumbo general N 6° E y buzamientos entre 30 a 35° W. El tope y la base de esta formación no pudo ser observado.

La formación Napo fue observada en afloramientos esporádicos a lo largo de la margen izquierda del Quijos, limitados al este por el aluvial y al oeste, cubiertos por materiales terrazados o de deslizamientos.

Filitas negras calcáreas con lentes de arenisca fueron observadas 600 m aguas arriba del eje; en frente a la planicie de Salahonda, en la margen izquierda del Río Sardinas y en frente a la desembocadura del Río Cauchillo se observaron lutitas negras calcáreas y calizas.

En las partes altas, se tienen afloramientos de la Napo con un bajo grado de metamorfismo; son filitas negras silicificadas, areniscas y calizas recristalizadas dispuestas en capas alternantes, limitadas en su extremo oriental probablemente por fallas de cabalgamiento con dirección noreste-suroeste. Las capas siguen un rumbo general N 35 - 40 E con buzamientos entre 50° y 60° hacia el oeste.

ANEXO II - GEOLOGIA, SISMOLOGIA Y MECANICA DE SUELOS

Al igual que la formación anterior, las rocas de la Tena se encuentran unicamente en la margen izquierda del Quijos.

Afloramientos esporádicos se encuentran junto a la orilla del río con espesores entre 10 y 20 m cubiertos por terrazas y coluviones a una distancia entre 700 m y 2.900 m aguas arriba del eje de presa. En algunos sitios está en contacto fallado con las lutitas y filitas negras de la Napo. A veces es difícil diferenciar entre las lutitas características de la formación Tena y el paso a filitas rojas por efectos del metamorfismo.

El cuerpo principal de estas rocas se presenta en forma continua en la parte alta del embalse, a unos 3 km al sur del eje de presa a la altura de la carretera y se prolonga hacia el sur en dirección del Río Sardinas. Se trata de las características filitas rojas producto del metamorfismo de las lutitas de Tena. La composición es arcillosa aunque en algunos casos se presenta algo calcárea; la foliación presenta rumbos entre N 20-30 E y buzamientos entre 60 y 75° hacia el oeste.

Entre los depósitos cuaternarios hay que mencionar los aglomerados volcánicos (Vra), las coladas de lava (Vra α), las terrazas (Qta) y el aluvial (Qa).

Los aglomerados, ya descritos anteriormente, se extienden a lo

ANEXO II - GEOLOGIA, SISMOLOGIA Y MECANICA DE SUELOS

largo de la planicie de Linares, por la margen derecha. Es el conjunto más importantes entre los depósitos cuaternarios por el hecho de estar enmascarando a las rocas más antiguas y por ser el responsable de la característica morfológica de la parte inferior del embalse.

Las coladas de lava se encuentran en forma casi continua desde el sitio de presa hasta 1.800 m aguas arriba. Son andesitas que forman farallones casi verticales; son típicos flujos intercañón.

Otra franja de lava se encuentra aflorando en la carretera Quito-Lago Agrio, un kilómetro al norte del puente del Río Sardinas, en forma alargada con dirección NNE.

Existen depósitos terrazados antiguos y modernos a lo largo de toda el área de embalse, constituyendo este material la mayor superficie de inundación, entre el 60 y 70% del área total. Los depósitos terrazados antiguos (Qta) generalmente están en las partes altas del embalse por la margen derecha del valle principal y en el valle del Río Sardinas. Están constituidos por arenas y limos medianamente consolidados y cubiertos con una capa de suelo vegetal. Los depósitos de terrazas modernas (Qtm) se encuentran en las partes más bajas del valle, en ambos lados del río; su composición es de arenas y limos poco o nada consolidados. Los más importantes por su extensión son los que se encuentran a lo largo de la planicie

ANEXO II - GEOLOGIA, SISMOLOGIA Y MECANICA DE SUELOS

de Salahonda, entre los Ríos Pacayacu y Borja, donde se tiene una capa de suelo vegetal de 50 cm o mantos de arena, luego arcillas y a profundidades de 2 a 3 m se observan gravas con material volcánico como componente principal.

Los depósitos aluviales se encuentran a lo largo del cauce del río en sus dos márgenes o formando islotes. Su composición es arena y grava con fragmentos de todos los tamaños, desde guijarros hasta bloques de más de 1 m de diámetro; generalmente están descubiertos o eventualmente con una capa vegetal de 20 m.

Una área de deslizamiento fue detectada inmediatamente aguas arriba del área de presa, en la margen izquierda, con una extensión de 1800 m y un ancho aproximado de 400 m. Esta área va desde el nivel del río y continúa más arriba de la cota máxima del embalse. Todo el sector tiene la característica morfológica ondulada de áreas de deslizamiento. El material se compone en su mayoría de fragmentos angulosos de filitas rojas, filitas negras y rocas carbonatadas, que son los componentes principales de las formaciones Tena y Napo.

Como se indicó anteriormente, los resultados de la geofísica dieron espesores entre 2 y 4 m y un máximo de 9 m para este material.

El hecho de estar cubierta la mayor parte del embalse por depósitos cuaternarios, impide un conocimiento extenso de las condiciones es-

ANEXO II - GEOLOGIA, SISMOLOGIA Y MECANICA DE SUELOS

estructurales dominantes en el área. Sin embargo la parte inferior del embalse, en la margen izquierda entre el sitio de presa y el Río Sardinas, presenta al descubierto los sedimentos cretácicos donde se observan las mismas características regionales que tiene el valle del Río Quijos. En este sector se tiene bloques alternantes y paralelos de las formaciones Napo y Tena con una dirección aproximada entre N 20 E y N 30 E con buzamientos fuertes entre 60 y 75° hacia el oeste.

En lo que respecta a la estanqueidad del embalse no se prevé problemas. Las gravas y los materiales inconsolidados existentes, de permeabilidad elevada, están circunscritos a la cuenca del Quijos.

Hacia la cuenca del Río Oyacachi es bastante improbable fugas de agua ya que el divisor de las dos cuencas está constituido por lutitas y filitas arcillosas, impermeables.

Por la margen derecha los aglomerados volcánicos y las rocas de la formación Misahualli no permitirían el paso del agua hacia cuencas adyacentes.

En cuanto a la estabilidad de las pendientes naturales del embalse, inmediatamente aguas arriba del eje de la presa, en la margen izquierda, fue constatada la existencia de una gran área de deslizamientos.

ANEXO II - GEOLOGIA, SISMOLOGIA Y MECANICA DE SUELOS

Los estudios geofísicos revelaron un espesor promedio de 4 m y un máximo de 9 m del material deslizado bajo en el cual están las filitas negras y rojas. La ascensión del nivel freático por la creación del embalse podría facilitar ese deslizamiento causando así una disminución del volumen útil de embalse. Por el volumen del material presente en ese sector no se prevé problemas de oleaje que tengan alguna repercusión en la presa.

En los estudios futuros será necesario detallar el conocimiento de ese sector mediante la ejecución de perforaciones, pozos y ensayos específicos para medir la resistencia de los distintos materiales.

Deslizamientos menores se encuentran a lo largo del área de embalse, normalmente producidos en el contacto suelo-roca y de pequeña extensión y volumen.

Desde la desembocadura del Río Sardinas hacia aguas arriba, las pendientes son suaves y estables.

4.2.7 Materiales de Construcción

a. Investigaciones de campo

Como fuente de material arcilloso impermeable para el núcleo de la

ANEXO II - GEOLOGIA, SISMOLOGIA Y MECANICA DE SUELOS

presa, fueron estudiadas dos áreas de préstamo de las cuales se tomaron muestras para ensayos de laboratorio.

La primera área está ubicada entre la unión de los Ríos Oyacachi y Quijos y la población de El Chaco. El centro del área está distante 1 km del eje de la presa, por la margen izquierda (ver Lámina N° HS/IA-442-GM-083).

El material arcilloso presente es clasificado primordialmente como un producto de la meteorización residual de los aglomerados volcánicos; frecuentemente se encuentran fragmentos de roca en proceso de descomposición.

Debido a la casi inexistencia de drenaje en esta área, el material arcilloso posee un alto contenido de humedad; el nivel freático está entre 1 y 3 m de profundidad, dependiendo de la pluviosidad en el momento de la ejecución de las investigaciones.

En base a 30 sondeos a barreno y 3 pozos manuales, se delimitó una superficie de 842.000 m^2 , con un espesor promedio de 3 m de material arcilloso. Del volumen total estimado, de $2,5 \times 10^6 \text{ m}^3$, se calculó en $0,6 \times 10^6$ el volumen de arcilla con material orgánico (suelo vegetal).

La zona 2, localizada aproximadamente 3,6 km aguas arriba del eje

ANEXO II - GEOLOGIA, SISMOLOGIA Y MECANICA DE SUELOS

de presa, en la margen izquierda sobre la carretera, constituye el área principal para la obtención del material arcilloso para núcleo.

Tiene una extensión de 752.000 m^2 y con espesores promedios de 5 m para el suelo residual arcilloso y 4 m para la alteración de la filita, lo que daría un volumen total de $6,77 \times 10^6 \text{ m}^3$. Los dos materiales son removibles por equipos convencionales de excavación y en conjunto presentarían humedades naturales más bajas que el área I. Son terrenos ondulados con un buen drenaje natural.

Fueron ejecutados 18 sondeos a barreno con profundidades entre los 3 y 7 m y dos pozos manuales de 5 m de profundidad.

El acceso a las dos áreas estudiadas es realizado por la carretera Quito-Lago Agrio.

Material para enrocado fue estudiado en los depósitos aluviales-gravas y en un local de cantera.

El aluvial, en áreas cercanas al sitio de presa ocurre en pequeños depósitos aislados, con volúmenes variables entre 100.000 y 400.000 m^3 .

La Lámina N° HS/IA-442-GM-034 indica las áreas de gravas y arenas.

ANEXO II - GEOLOGIA, SISMOLOGIA Y MECANICA DE SUELOS

Gravas limpias son prácticamente inexistentes aguas arriba del eje de presa, en una distancia económica.

Como alternativa fue estudiado un local para la implantación de una cantera, el mismo que se sitúa en la margen derecha del Río Quijos, 2 a 3 km aguas abajo del eje.

Se trata de rocas volcánicas de la formación Misahualli, lavas andesíticas que forman elevaciones de más de 300 m de alto, bastante silicificadas y diaclasadas.

Una estimación conservadora, eliminando la parte superficial meteorizada (10 m estimados) y fracturada, sería de $14 \times 10^6 \text{ m}^3$ de roca, tomando como base un prisma triangular de 600 m de ancho, 1.800 m de largo y 250 m de alto.

En lo que respecta a arenas, fueron localizados depósitos cerca de la confluencia de los Ríos Quijos y Sardinas, en la margen izquierda y en la margen derecha, en frente al local anterior hasta unos 300 m aguas arriba.

Las arenas presentan grano medio a grueso, con bajo porcentaje de finos y son predominantemente cuarzosas.

ANEXO II - GEOLOGIA, SISMOLOGIA Y MECANICA DE SUELOS

La potencia estimada a lo largo del río, en las playas, es de 2 m, lo que daría un volumen aproximado de 200.000 m³.

Cantidades superiores a ésta deberían ser obtenidas de esos mismos locales pero bajo los dos metros de profundidad, en donde la arena ocurre mezclada con gravas.

b. Investigaciones de Laboratorio

Los tipos y métodos utilizados para los ensayos fueron los mismos que los descritos para Borja en el ítem 4.1.5.

El material de las áreas de préstamo es una arcilla limo-arenosa o un limo arcillo-arenoso, de color amarillo, anaranjado a marrón, plástico, no dispersivo de origen residual.

De los gráficos de plasticidad de las Láminas Nos. HS/IA-442-GM-083 y 084 se observa la gran variación de los valores del límite líquido, entre 35% y 145%. Casi todos los puntos en los gráficos están localizados abajo de la línea A, lo común para suelos tropicales de alteración in situ de rocas de origen volcánico y/o de regiones húmedas.

La humedad natural del material es extremadamente alta, entre 60% y 140% en el área I y de 70% a 120% en el área II.

ANEXO II - GEOLOGIA, SISMOLOGIA Y MECANICA DE SUELOS

Las humedades óptimas, obtenidas para las muestras sometidas a ensayos de compactación, varían entre 35% y 80% para el área I y entre 50% y 70% para el área II. La diferencia entre las humedades naturales y las humedades óptimas de esas muestras es de 20% a 70% en el área I y de 30% a 50% en el área II. Como se ha dicho para Borja, esa diferencia es muy difícil de reducir económicamente, durante la construcción del núcleo.

Las densidades secas máximas de esas mismas muestras varían entre 0,86 g/cm³ y 1,30 g/cm³ en el área I y entre 0,84 g/cm³ y 1,07 g/cm³ en el área II.

Los cuerpos de prueba para los ensayos de permeabilidad fueron moldeados en la humedad óptima y con la densidad seca igual a 98% de la densidad seca máxima del ensayo de compactación. En estas condiciones se obtuvo coeficiente de permeabilidad de $3,7 \times 10^{-6}$ cm/s, revelando que el material es adecuado para la construcción del núcleo impermeable de la presa.

Materiales aluviales para obtener grava y arena solamente existen en pequeños depósitos aislados. Fue ensayada una muestra de la capa superficial del área aguas abajo de la unión de los Ríos Sardinas y Quijos.

El material es una arena mediana y gruesa, y con solamente 3% de

ANEXO II - GEOLOGIA, SISMOLOGIA Y MECANICA DE SUELOS

limo. Del ensayo de permeabilidad se obtuvo un coeficiente de permeabilidad de $2,0 \times 10^{-3}$ cm/s.

Los estudios realizados hasta la fecha evidencian que la arena presenta adecuadas propiedades para el empleo de la construcción de los filtros.

Para las transiciones y espaldones se prevé el empleo de material de la cantera.

4.3 BALSAS

4.3.1 Consideraciones Generales

La presa de Balsas, está ubicada en el kilómetro 81+150, sobre el Río Quijos, a dos kilómetros aguas abajo de la parroquia Díaz de Pineda y aproximadamente 4,5 km aguas abajo de la confluencia de los Ríos Santa Rosa y Quijos (ver Lámina N° HS/IA-442-GM-067).

Se prevé la implantación de una presa de escollera, con una longitud en la corona de 725 m, llegando a la cota 1.473 m, con la altura de 116 m. Consta además de un túnel de desvío, un vertedero incorporado y una central hidroeléctrica a pie de presa. El embalse tendría una capacidad de 180×10^6 m³ y una longitud aproximada de 12 km, llegando la cota hacia el sitio de presa de El Chaco, frente a la población del mismo nombre.

ANEXO II - GEOLOGIA, SISMOLOGIA Y MECANICA DE SUELOS

El acceso a la zona de la presa se hace por medio de un camino de herradura que parte desde el puente de Santa Rosa, con una distancia aproximada de 10 km.

Antes de definir el sitio actual, se realizaron estudios geológicos y geofísicos y algunas excavaciones en dos alternativas ubicadas en los km 80+800 (Balsas I) y 80+200 (Balsas II), respectivamente

Dentro de los estudios geofísicos se realizaron 2.365 m de perfiles sísmicos y 5 sondeos eléctricos de resistividad en el sitios Balsas I y 1.239 m de perfiles sísmicos en el sitio Balsas II.

Para materiales de construcción se escogieron cinco áreas, de las cuales se desechó la número V por las condiciones de calidad del material. En las cuatro zonas restantes se realizaron 161 sondeos a barreno con un total de 223,93 m.l, 21 pozos con un total de 87.30 m.l, y 13 trincheras con un total de 132 m.l. También se realizó la investigación de un sitio de cantera cercano al sitio de presa.

4.3.2 Geología del Sitio de Presa

En el área de la presa se realizó el levantamiento geológico a escala 1:5.000, el cual resultó dificultoso debido a los escasos afloramientos en el área; el trabajo de campo fue complementado con foto-geología. Además se realizaron 14 excavaciones a mano con un total de 132 metros lineales.

ANEXO II - GEOLOGIA, SISMOLOGIA Y MECANICA DE SUELOS

Los principales aspectos geológicos del sitio de presa están indicados en la Lámina N° HS/IA-442-GM-085.

La margen derecha está representada por una zona plana de aproximadamente 600 m de ancho, que corresponde a depósitos aluviales terrazados antiguos y modernos los cuales se elevan 30 m y 10 m respectivamente sobre el nivel del río; luego sigue una pendiente poco pronunciada formada por el material de los depósitos coluviales con un ancho promedio de 300 m. El resto del área presenta pendientes abruptas que denotan la presencia de roca porfirítica de la formación Misahualli.

La margen izquierda tiene solamente un promedio de 200 m de morfología plana correspondiente a los depósitos aluviales terrazados antiguos; el resto del área tiene pendientes fuertes que corresponden, como en el caso de la margen derecha, a rocas de la formación Misahualli.

El cauce del río es por lo general amplio, con un promedio de 100 m, con un mínimo de 50 m en el sitio del eje. Sus estribos casi verticales tienen una altura promedio de 20 m, con respecto al nivel del río, aumentando en los sitios donde aflora la roca porfirítica.

Fenómenos de movimientos de tierra no se han observado en el área de estudio, aunque en las épocas invernales se presentan pequeños corrimientos de las capas superficiales.

En el área de la presa se presentan los siguientes tipos de formaciones y depósitos:

ANEXO II - GEOLOGIA, SISMOLOGIA Y MECANICA DE SUELOS

. Formación Misahualli (JK)

Aflora en las dos márgenes del río y está constituyendo el zócalo rocoso de toda el área; cubre un 30% de la zona mapeada. Está constituida principalmente por los siguientes tipos litológicos.

- Diabasas de color gris verdoso, con alteración superficial pequeña, textura hipidiomórfica, con horblenda, plagioclasa, sulfuros y clorita. Microscópicamente se observan cristales distribuidos al azar, sin orientación definida, con una forma hipidiomórfica o idiomórfica. Entre los minerales esenciales se encuentra plagioclasa alterada a clorita o a epidota con sericita y carbonato, augita; como minerales accesorios tenemos magnetita y sulfuros.
- Tobas porfiríticas de color gris a gris verdoso, cambiando a gris rosado cuando existe silicificación. Son duras, con diáclasis lisas y cortantes. Presentan textura porfirítica con fenocristales feldespáticos en una matriz afanítica, vítrea.

La alteración de la roca es variable desde pocos centímetros hasta algunos metros. Cuando la roca está alterada forma suelos limo-arenosos de color gris-amarillento.

En el mapa geológico se ha diferenciado a esta formación, tomando

ANEXO II - GEOLOGIA, SISMOLOGIA Y MECANICA DE SUELOS

en cuenta el espesor de la cobertura coluvial, en JK y JK₁, correspondientes a espesores de 0 a 5 m y de 5 a 10 m, respectivamente; en el resto del área, la roca se encuentra a más de 10 m de profundidad.

El espesor de las rocas de la formación Misahualli es indefinido en el área del Proyecto, pero de los estudios regionales se desprende que puede sobrepasar los 650 m; en el área del sitio de presa el espesor aflorante es mayor a los 300 m y revisando los estudios geofísicos se puede pensar que siguen en profundidad.

Respecto a las propiedades físicas se puede decir que estas rocas son impermeables cuando son sanas, aunque por fracturación pueden dejar pasar el agua cuya cantidad dependerá del espaciamiento, ancho y relleno de la fracturación. La roca por otra parte se presenta como resistente y apta como fundación.

Depósitos Volcánicos Recientes (Vr_α)

Se designa así a un afloramiento aislado y de dimensiones muy pequeñas, que se encuentra en la margen derecha del Río Quijos, aguas abajo de la desembocadura del Río Bombón Chico. El afloramiento está constituido por un resto de flujo de lava de textura afanítica, con feldespatos alterados y vidrio volcánico. Las rocas son por lo general del tipo andesítico-basálticas de color gris a gris

ANEXO II - GEOLOGIA, SISMOLOGIA Y MECANICA DE SUELOS

verdoso y presentan su característica estructura columnar.

La potencia de las lavas aflorantes es de 30 m aproximadamente y en longitud alcanza unos 150 m. No se conoce su extensión areal por encontrarse oculta bajo los depósitos terrazados antiguos.

Estas rocas al encontrarse formando el canal del río, están en continua erosión; por tanto sólo presentan indicios de material alterado en pocos centímetros.

Las lavas de la zona parecen ser impermeables, sin embargo por fracturación pueden presentar permeabilidad secundaria; como material de fundación es de buena calidad.

. Depósitos Aluviales Terrazados Antiguos (Qta)

Ocupan el 40% del área estudiada y predominan en la margen derecha del Río Quijos.

Litológicamente están compuestos de bloques y gravas con cemento areno limoso o limoso. Los bloques y gravas son heterogéneos tanto en composición como en granulometría; la mayoría son subredondeados a redondeados. En general las capas con cemento arenoso se encuentran bajo aquellas con cemento limoso y muchas veces se encuentran lentes de arenas grises intercaladas.

ANEXO II - GEOLOGIA, SISMOLOGIA Y MECANICA DE SUELOS

El espesor de estos depósitos es en promedio de 20 m, llegando cerca a los 30 m, según los datos obtenidos de geofísica.

La consolidación en este tipo de terrazas es media y la permeabilidad puede variar en sentido vertical de mediana a alta, sobre todo al encontrar las capas de arena.

. Depósitos Aluviales Terrazados Modernos (Q_{tm})

Predominan también en la margen derecha del Río Quijos, ocupando un 20% del área mapeada.

La composición litológica es la misma que la de los depósitos terrazados antiguos, descritos anteriormente, con la diferencia de que presentan poca consolidación.

El espesor promedio de los depósitos es de unos 30 m, llegando a unos 55 m, en la parte más profunda según los datos de geofísica.

Debido a la baja consolidación la permeabilidad debe ser alta.

. Depósitos Aluviales Contemporáneos (Q_a)

Ocupan una pequeña parte del área, localizada 100 m aguas arriba de la presa, en la margen derecha del Río Quijos y están relleno

ANEXO II - GEOLOGIA, SISMOLOGIA Y MECANICA DE SUELOS

además el canal del río.

Litológicamente están compuestos de bloques, gravas y arenas; los bloques y gravas son en su mayoría redondeados a subredondeados y de diferente composición. Los diámetros de los bloques son variables llegando en algunos casos hasta unos 2 m.

El espesor promedio, según los datos de geofísica es de 10 m.

Como estos depósitos son sueltos, la permeabilidad es alta.

. Depósitos Coluviales (Qc)

Están cubriendo formaciones más antiguas en las dos márgenes del río. Están compuestos de bloques angulosos de varios diámetros, predominando los bloques de rocas ígneas sobre los de las rocas sedimentarias (principalmente areniscas). El material fino es del tipo limoso de color amarillento.

El espesor promedio de estos materiales es estimado en 12 m, llegando a 20 m de potencia como máximo en las partes donde predomina el relieve moderado.

La permeabilidad es alta en estos materiales y la roca de base actúa como capa impermeable; en el contacto escurre el agua de

ANEXO II - GEOLOGIA, SISMOLOGIA Y MECANICA DE SUELOS

infiltración en las épocas de invierno. Este material no es apto para cimentaciones.

. Depósito Superficiales (Sc)

Están ploteados unicamente en el perfil geológico (Lámina N° HS/IA-442-GM-085) ya que en planta están incluidos dentro de los otros depósitos cuaternarios.

Litológicamente están compuestas por limos orgánicos, sin consolidación.

El espesor promedio de estos materiales es de 1 m, dependiendo de la morfología del terreno. Dentro de estos depósitos está incluida la zona de roca altamente alterada.

Este material es permeable e inadecuado como cimentación.

Estructuras importantes tales como fallas o zonas altamente fracturadas no se han detectado en el área de la presa, con los estudios de superficie.

En lo que se refiere a fracturas, sin contar la zona de alteración, se ha visto que en la margen derecha éstas se presentan cerradas y medianamente espaciadas (3 a 5 por metro); en cambio, en la margen

ANEXO II - GEOLOGIA, SISMOLOGIA Y MECANICA DE SUELOS

izquierda, existen fracturas con hasta 10 cm de abertura, aunque ampliamente espaciadas (1-4 por metro). El relleno de las fracturas en superficie está compuesto de material fino-limoso, producto de la alteración de la misma roca. La experiencia indica que en este material las fracturas se cierran en profundidad.

Para el área de la presa se ha preparado un gráfico de "Sistema de fracturación", (ver Lámina N° HS/IA-442-GM-085). Para las rocas de la formación Misahualli, se desprende que los sistemas de fracturación más comunes tienen una dirección predominante E-W y N 40-60 W, ambos con buzamientos casi verticales.

Los estudios geofísicos fueron ejecutados como ya se dijo anteriormente, aguas abajo del sitio actual propuesto, pero fueron de mucha utilidad para poder correlacionar datos en lo que se refiere a:

- espesor de los suelos y otras capas superficiales
- espesor de los aluviones contemporáneos
- espesor de las terrazas aluviales antiguas y modernas
- profundidad de la roca de base
- velocidades para las diferentes capas

Los resultados de las investigaciones geofísicas pueden revisarse en el Apéndice I y en las Láminas Nos. HS/IA-442-GM-088, 089 y 090.

Correlacionando los valores de los parámetros geofísicos obtenidos

ANEXO II - GEOLOGIA, SISMOLOGIA Y MECANICA DE SUELOS

con las rocas presentes, tendríamos:

Rango de Velocidad m/s	Resistividad ohm/m	Clasificación Geológica
300 - 900	740 - 890	- Depósitos superficiales (Sc) - Depósitos coluviales (Qc)
1336 - 1960	110 - 455	- Depósitos aluviales terrazados antiguos (Qta) y modernos (Qtm) - Roca altamente meteorizada
2200 - 3100	155 - 5000	- Rocas de la Formación Misahualli (JK), fracturadas o de baja densidad,
3555 - 4800	188 - 945	- Rocas de la Formación Misahualli (JK), poco fracturadas y densas.

En los perfiles geofísicos realizados, se efectuó una interpretación geológica, basándose en los límites de velocidad y en los conocimientos de geología del área, tomando en cuenta sobre todo, el sistema de fracturación para diferenciar los distintos rangos de velocidad.

En la zona de la presa se realizaron 14 excavaciones tipo trinchera con un total de 180 metros lineales (ver Lámina N° HS/IA-GM-087).

En la margen derecha tenemos las trincheras de números TR-BS-PD-1 al 7, en las cuales se tiene un promedio de 2 m de material coluvial, antes de llegar a la roca altamente alterada (tipo suelo limoso).

ANEXO II - GEOLOGIA, SISMOLOGIA Y MECANICA DE SUELOS

En la margen izquierda tenemos las siguientes trincheras: TR-Bs-PI 1-2-3-4-5-6 y 7 que tienen un promedio de 1 m de suelo superficial y/o material coluvial, antes de llegar a la roca porfirítica altamente alterada. Las trincheras TR-Bs-PI-6 y TR-BsPI-7 situadas exactamente en el sitio de presa actual, tienen tan solo 50 cm de depósitos superficiales para entrar en la roca ligeramente alterada, donde se pudo apreciar el estado de fracturación ya descrita anteriormente.

En lo que respecta a la colocación del núcleo de la presa, se debe indicar que los depósitos superficiales (Sc) y los depósitos coluviales (Qc) no son materiales aptos para fundación y por lo tanto deben ser removidos en su totalidad; las mismas recomendaciones son válidas para la implantación de la ataguía y de los espaldones. La excavación en forma general se estima entre 8 y 12 m.

Debe anticiparse tratamiento en la roca porfirítica por su estado de fracturación.

Los depósitos aluviales terrazados, parecen poseer una permeabilidad media, sin embargo debe prevenirse tratamiento de sellado.

4.3.3 Geología del Túnel de Desvío y Vertedero

El túnel de desvío y el vertedero son obras que se complementan

según el diseño actual ya que un sector del túnel de desvío será aprovechado posteriormente para el vertedero de demasías. El rumbo general de la obra es N-S.

Las características generales de estas obras civiles son las siguientes:

- . Túneles de desvío, en número de dos, con:
 - longitud del canal de entrada: 100 m
 - longitud del túnel: 630 m, para cada túnel
 - canal de salida común: 160 m
 - diámetro de cada túnel: 11.50 m
- . Vertedero de demasías; consta de dos túneles como sigue:
 - longitud de los túneles inclinados: 150 m cada túnel
 - longitud de los túneles comunes: 330 m cada túnel
 - diámetro de cada túnel: 11,50 m

El canal de entrada del túnel de desvío será excavado parcialmente en material aluvial terrazado (Qta), en material coluvial (Qc) y en porfirita medianamente diaclasada.

Los taludes en el aluvial y coluvial, al nivel actual de los estudios, son considerados con pendientes de 1:1 o eventualmente un poco más tendido. En la porfirita el talud de corte podrá ser de

ANEXO II - GEOLOGIA, SISMOLOGIA Y MECANICA DE SUELOS

1:5 (h:v) ya que la roca es competente.

Los portales de entrada y salida de los túneles, el vertedero y los propios túneles en toda su extensión, cortarían rocas porfiríticas de la formación Misahualli, con una sobrecapa de 100 m en promedio (ver Lámina N° HS/IA-442-GM-086).

El canal de salida presentaría los cortes en material terrazado (Qta) en un 60% y el restante en porfirita. Las mismas consideraciones hechas para el canal de entrada, son válidas para el presente caso.

La roca atravesada por los túneles presenta un sistema de fracturas orientados N-S y N 60° E con buzamientos casi verticales; las fracturas en superficie se presentan abiertas, de 1 a 10 cm, y la separación o espaciamiento es de 10 a 100 cm. En la zona de alteración, de unos 5 m, la roca está muy fracturada con una separación de 1 a 10 cm.

Geotécnicamente se puede concluir que:

- . Los túneles atraviesan en roca sana, fresca y competentes.
- . Las estructuras están orientadas casi en forma paralela a los ejes de los túneles, lo cual podría disminuir la capacidad de sustentación; por otro lado se prevén problemas en el túnel

ANEXO II - GEOLOGIA, SISMOLOGIA Y MECANICA DE SUELOS

inclinado por su orientación con relación al buzamiento de la fracturación, por lo que se anticipa la necesidad de pernos de anclaje y/o entibado especial y/o hormigón lanzado.

- . Deberá preverse el uso de mallas, pernos y entibado especial para zonas de mayor fracturación.
- . Posiblemente se encuentren zonas de infiltración a través de las grietas, pero se supone que sean en pequeña escala y con un caudal muy reducido, sobre todo en las épocas de verano.

4.3.4 Geología de la Casa de Máquinas

La alternativa prevista para la central es a pie de presa y consta de las siguientes obras civiles:

- . Obras de toma
- . Túnel de presión de 8.20 m de diámetro y aproximadamente 100 m de longitud.
- . Túnel horizontal de 7.60 m de diámetro y aproximadamente 170 m de longitud; en el tramo final se divide en tres tuberías con diámetro de 4.40 m.
- . Casa de máquinas con 3 grupos de 103.7 MWA.

ANEXO II - GEOLOGIA, SISMOLOGIA Y MECANICA DE SUELOS

La dirección general de las obras es N 6° W (ver Lámina N° HS/IA-442-GM-086).

El canal de entrada será excavado en un 20%, en material coluvial (Qc), compuesto principalmente de bloques, arenas y limos no consolidados; el resto del sector incidirá en roca porfirítica relativamente sana.

El portal de salida en cambio, será excavado en material terrazado (Qta) compuesto de gravas, bloques y arenas medianamente consolidadas; el mismo material se topará en la excavación para la fundación de la casa de máquinas.

En esta zona prevalecen las estructuras N-S y N 60° E con buzamientos casi verticales. En superficie las fracturas se presentan abiertas (0.1 - 10 cm) y muy espaciadas; por lo general están rellenas de material limoso.

Las galerías tanto a presión como el tramo horizontal del túnel serán excavadas en roca porfirítica relativamente sana y con una sobrecapa considerable.

Las fracturas predominantes están orientadas en forma subparalela a la excavación. Especial atención deberá ser dada al tramo de la galería inclinada por la intersección del ángulo de inclinación

ANEXO II - GEOLOGIA, SISMOLOGIA Y MECANICA DE SUELOS

con el buzamiento de las fracturas; pernos de anclaje y entibado especial pueden ser indispensables. La misma recomendación es válida para eventuales zonas donde la fracturación sea intensa.

La infiltración de agua se considera mínima.

Para los portales de entrada y salida se recomienda taludes H1:V1 en los materiales no consolidados.

La fundación de la casa de máquinas debe hacerse en lo posible sobre roca andesítica, eliminando los terrenos aluviales terrazados y la parte de roca alterada.

La ladera situada sobre la casa de máquinas debe ser protegida ya que los deslizamientos de las capas superficiales son frecuentes en el sector durante las épocas invernales.

4.3.5 Geología del Embalse

El embalse a formarse con la presa de Balsas, considerando la cota 1.472 m tendrá una capacidad de $180 \times 10^6 \text{ m}^3$ y una longitud de unos 15 km en el Río Quijos y 2 km en el Río Santa Rosa, llegando la cola del embalse hasta el sitio de presa de El Chaco, bajo la población del mismo nombre.

ANEXO II - GEOLOGIA, SISMOLOGIA Y MECANICA DE SUELOS

En general el área del embalse se presenta encañonada, con ligeras planicies formadas por los terrenos aluviales. Las terrazas aluviales, forman, sin embargo, paredes verticales de casi 30 m de altura con respecto al nivel del río, por lo que el perfil de las laderas está compuesto por una parte vertical, una plana y otra inclinada.

Los tributarios que confluyen al Río Quijos, forman cauces poco profundos a excepción de los Ríos Santa Rosa y Bombón, que a su vez son los de mayor aporte en el área.

La Lámina N° HS/-IA-442-GM-091 presenta los principales aspectos geológicos del embalse.

Las formaciones rocosas y depósitos que conforman el área son las siguientes:

. Formación Misahualli (JK)

Está compuesta de rocas volcánicas entre las que se encuentran los siguientes tipos litológicos:

- Tobas porfiríticas de color gris a gris verdoso, cambiando a gris rosado cuando están silicificadas. Son duras y con diaclasas lisas y cortantes. Tienen textura porfirítica, con fe-

ANEXO II - GEOLOGIA, SISMOLOGIA Y MECANICA DE SUELOS

nocristales feldespáticos en una matriz afanítica vítrea.

- Ignimbritas, con características similares a las anteriores, con la diferencia de que en éstos se presentan lentes o flamas de vidrio con espesores milimétricos paralelos entre sí.
- Diabasas, de color gris verdoso, con alteración superficial pequeña; la textura es hipidiomórfica con horblenda, plagioclasa, sulfuros y clorita.

Microscópicamente se observan cristales distribuidos al azar, sin orientación definida, con una forma hipidiomórfica o idiomórfica. Entre los minerales esenciales se encuentran plagioclasa alterada a clorita o epidota con sericita y carbonato; augita; enstatita. Entre los minerales accesorios tenemos: apatita, magnetita, pirita; los minerales de alteración están representados por clorita y carbonatos.

En el embalse ocupan el 50% del área y por lo general están poco alterados en superficie, en los afloramientos observados. Forman taludes inclinados entre 40° y 50°. En su mayor parte se encuentran cubiertas por depósitos coluviales u otros depósitos modernos.

La potencia es indeterminada en el área por no conocerse la base;

ANEXO II - GEOLOGIA, SISMOLOGIA Y MECANICA DE SUELOS

la potencia aflorante es de aproximadamente 350 m.

Depósitos Volcánicos (Vrα)

Están compuestos de coladas de lava del tipo andesita-basáltica, de color verdoso, con potencias de 10 a 15 m, intercaladas con brechas de bloques angulosos cementadas con arena volcánica media a gruesa con espesores variables entre 5 y 7 m.

La alteración de las lavas en los afloramientos es mínima mientras que de las brechas es acentuada.

En el área, los afloramientos de los depósitos volcánicos constituyen aproximadamente el 5% ya que su extensión areal es desconocida por encontrarse cubierta por depósitos más jóvenes. En la mayoría de los casos se presenta formando las laderas empinadas del cauce del río con una altura media de 30 m.

Depósitos Aluviales Terrazados (Qt)

Están compuestos de bloques, gravas, arenas y limos de variada composición litológica. Los bloques son redondeados a subredondeados y tienen un gran porcentaje de alteración. El espesor promedio de estos depósitos es de 30 m.

ANEXO II - GEOLOGIA, SISMOLOGIA Y MECANICA DE SUELOS

En el mapa geológico se ha dividido en terrazas aluviales antiguas (Qta) y terrazas aluviales modernas (Qtm), diferenciándose las primeras por su mayor consolidación, aunque los materiales constitutivos son los mismos.

. Depósitos Aluviales Contemporáneos (Qa)

Son depósitos heterométricos con bloques, gravas y arenas de litologías diferentes y sin consolidación. Se encuentran relleno el canal del río principal y los afluentes de importancia. Las gravas y bloques son angulosos a subangulosos y la alteración es menor que en los depósitos terrazados.

La potencia de los depósitos es variable, llegando a 12 m de promedio, según las investigaciones geofísicas.

. Depósitos Coluviales (Qc)

Dentro de esta clasificación están incluidos los escombros de talud, los suelos superficiales, etc. Están constituidos por limos y bloques angulosos con un alto grado de alteración.

Estos depósitos son poco potentes, con un promedio de 3 m pero, en casos excepcionales pueden llegar a 20 m, dependiendo de la morfología del terreno, ya que los sitios relativamente planos, a pie de

ANEXO II - GEOLOGIA, SISMOLOGIA Y MECANICA DE SUELOS

laderas y las hondonadas, se prestan a mayor acumulación.

Dadas las condiciones geológicas y litológicas del área del embalse, se puede anticipar que el vaso se comportaría con un alto grado de impermeabilidad, ya que la andesita porfirítica que es la roca de base, posee tan solo porosidad secundaria por la presencia de fracturas.

Fallas grandes, o sistemas de fracturación de importancia, no se han encontrado en el área, aunque se presentan algunas lineaciones transversales al embalse.

Los taludes en el área del vaso de almacenamiento poseen una gran estabilidad a excepción de los depósitos coluviales y depósitos de superficie (Qc) y (Qs) que al no poseer consolidación se deslizan fácilmente, sobre todo cuando están saturados, como se ha visto en las épocas invernales. En todo caso, los volúmenes que se podrían considerar como potencialmente deslizables, no son importantes y no tendrán mayor influencia en el vaso o en la presa.

4.3.6 Materiales de Construcción

a. Investigaciones de Campo

Para los materiales de construcción, fueron investigadas cinco áreas

ANEXO II - GEOLOGIA, SISMOLOGIA Y MECANICA DE SUELOS

de préstamo en las cuales se hicieron los siguientes trabajos de investigación:

- Zona I: 2 pozos exploratorios, 4 trincheras y 44 sondeos de barreno y de los cuales se tomaron 33 muestras. La localización, profundidades y/o longitudes y el resultado de los ensayos están indicados en la Lámina N° HS/IA-442-GM-092.

La zona I está ubicada a 7 km aguas arriba del eje de presa, en la confluencia de los Ríos Quijos y Santa Rosa.

- Zona II: Fueron realizados 3 pozos exploratorios, una trinchera y 24 sondeos a barreno y se tomaron 15 muestras. La localización, profundidades y/o longitudes así como el resultado de los ensayos están indicados en la Lámina N° HS/IA-442-GM-093.

Esta zona está situada a 6 km aguas arriba del eje de presa, en la margen derecha del Río Quijos.

- Zona III: 8 pozos exploratorios, 3 trincheras, 37 sondeos a barreno y se tomaron 34 muestras. La localización, profundidades y/o longitudes y el resultado de los ensayos están indicados en la Lámina N° HS/IA-442-GM-094.

ANEXO II - GEOLOGIA, SISMOLOGIA Y MECANICA DE SUELOS

Zona IV: 5 pozos exploratorios, 2 trincheras y 56 sondeos a barreno, se tomaron 24 muestras. La localización, profundidades y/o longitudes y el resultado de los ensayos están indicadas en la Lámina N° HS/IA-442-GM-095.

Zona V: 3 pozos exploratorios fueron ejecutados. La localización y profundidad de las mismas están indicadas en la Lámina N° HS/IA-442-GM-096.

Está ubicada 2 km aguas abajo del eje de presa en la margen derecha del Río Quijos. En esta área no se realizó los sondeos a barreno porque en superficie se tiene gran cantidad de bloques que imposibilitarían el avance y la toma de muestras.

Como material impermeable para el núcleo de la presa se podría aprovechar los depósitos de cobertura de las zonas I, II, III y IV, los cuales son suelos limo-arcillosos, mediana a altamente plásticos; son de fácil explotación y la capa de suelo superficial es de sólo 1 m, la misma que deberá ser evitada por el alto contenido de materia orgánica.

Las cantidades estimadas son las siguientes:

ANEXO II - GEOLOGIA, SISMOLOGIA Y MECANICA DE SUELOS

	Area Explotable Aproximada (m ²)	Espesor Explotable Promedio (m)	Volumen Explotable Aproximado (m ³)
Zona I	500.000	3	1,5 x 10 ⁶
Zona II	370.000	2	0,7 x 10 ⁶
Zona III	700.000	2	1,4 x 10 ⁶
Zona IV	700.000	2	1,4 x 10 ⁶
VOLUMEN TOTAL:			5,0 x 10 ⁶

Posiblemente se puede aumentar el volumen en cada área, incrementando la profundidad de explotación en 1 ó 2 m; pero existe el problema de la separación de los bloques y guijos que se presentan a dichas profundidades.

Otra zona de importancia se encuentra en la carretera Santa Rosa - Tres Cruces a 4 km desde el puente sobre el Río Santa Rosa. Se trata de los suelos de alteración de las rocas de la formación Napo; su espesor y volumen son lo suficientemente grandes. Las propiedades mecánicas son similares a las estudiadas en la presa del Salado (ver ítem 4.4.5).

Para material de filtros se plantean las siguientes alternativas de aprovechamiento:

a) Depósitos Aluviales.- Se trata de los depósitos aluviales con-

ANEXO II - GEOLOGIA, SISMOLOGIA Y MECANICA DE SUELOS

temporáneos del cauce del río, situados aguas abajo del sitio de presa.

El volumen total sería de $1,6 \times 10^6 \text{ m}^3$, incluyendo en su granulometría bloques, gravas y arenas. El cálculo se ha basado tomando en cuenta la explotación con draga u otro sistema similar, en una longitud de 5 km, aguas abajo de la presa y con una potencia promedio de 5 m.

Considerando los ensayos realizados, con muestra del sitio, se tendría un promedio como sigue:

Arcillas y finos	50.000 m^3
Arenas: fina, media y gruesa	340.000 m^3
Gravas	480.000 m^3
Bloques	680.000 m^3

- b) Depósitos Terrazados.- Se podría aprovechar los depósitos aluviales terrazados modernos (Qtz) de la zona IV ó V, sobretudo en la franja cercana al río, donde la potencia del material de cobertura es menor; las dimensiones de la franja considerada son de 5 km de largo por 100 m de ancho y la profundidad de explotación es de 10 m. Con estos datos el volumen total del material sería de $5 \times 10^6 \text{ m}^3$.

ANEXO II - GEOLOGIA, SISMOLOGIA Y MECANICA DE SUELOS

Con los datos obtenidos en laboratorio en las muestras de la zona IV, se tendrían los siguientes volúmenes parciales:

Arcillas y limos	750.000 m ³
Arenas: finas, medias y gruesas	500.000 m ³
Gravas	750.000 m ³
Bloques	<u>3.000.000 m³</u>
Volumen Total	5.000.000 m ³

El volumen podría incrementarse de acuerdo a la longitud y a la potencia de excavación.

- c) Areniscas.- Se trata de las areniscas de la formación Hollín, situadas en la cota 1.800 m, bordeando el embalse, en la margen izquierda del Río Quijos.

El volumen de explotación es ilimitado.

La distancia de transporte es de por lo menos 12 km, pero podría aprovecharse la pendiente y botarse directamente hacia un centro de acumulación. El procesamiento de la roca para la obtención de la arena sería, sin embargo, un factor a considerar en el costo.

ANEXO II - GEOLOGIA, SISMOLOGIA Y MECANICA DE SUELOS

- d) Formación Misahualli.- Se podría obtener material de filtros, triturando las andesitas porfiríticas de la formación Misahualli, las cuales se utilizarían también para la obtención de agregados de hormigón y escollera.

El volumen del material es ilimitado con una distancia de transporte de 1 a 2 km.

Como materiales de transición se pueden aprovechar las fuentes de materiales descritas anteriormente.

Los volúmenes se podrían incrementar sumando las áreas de la zona IV y V.

Los problemas anticipados serían los siguientes: eliminación del material fino por lavado, eliminación del material alterado y cribado para obtener la granulometría deseada.

Para el material de escollera se pueden utilizar la andesita porfirítica de la Formación Misahualli, la cual tiene un volumen ilimitado en el área del proyecto y aflora sobre el nivel máximo del agua del embalse.

La cobertura en determinados lugares es de 5 a 10 m y el transporte se puede reducir a 1 ó 2 km, en el sitio del Río Bombón Chico;

ANEXO II - GEOLOGIA, SISMOLOGIA Y MECANICA DE SUELOS

además existen sitios adecuados para la implantación de una planta de tratamiento.

La fuente descrita anteriormente es apta para la obtención, por trituración, de agregados para hormigón; su volumen es indeterminado. Las características geotécnicas de la roca pueden mejorar conforme se adentre hacia la parte sana, ya que las muestras ensayadas fueron tomadas en superficie.

De las investigaciones de campo se concluye que en el área del Proyecto existen volúmenes suficientes de los distintos materiales de construcción, que la distancia de transporte hacia la zona de presa es reducida y que casi todas las fuentes de materiales necesitan tratamiento de una u otra manera.

b. Investigaciones de Laboratorio

- . Los tipos y métodos utilizados para los ensayos fueron los mismos que los descritos para Borja en el ítem 4.1.5.
- . Los suelos de las áreas I, II, III y IV consisten en dos capas distintas. El material de la capa superior es un limo arcillo-arenoso, color café oscuro a café amarillento, o una arcilla limo-arenosa, color café amarillento a amarillento, plástico, no dispersivo y se presenta depositado en terrazas.

ANEXO II - GEOLOGIA, SISMOLOGIA Y MECANICA DE SUELOS

En los gráficos de plasticidad presentados en las Láminas Nos. HS/IA-442-GM-092 a 096 se observa la gran variación de los valores del límite líquido, entre 30% a 130%. Todos los puntos están localizados bajo la línea A, como es común para suelos tropicales de alteración in situ de rocas de origen volcánico y/o de regiones húmedas.

La humedad natural del material es muy alta con valores variando entre 33% y 125%.

La humedad óptima de las muestras sometidas a ensayos de compactación varía entre 25% y 57% y la densidad seca máxima entre 0,99 y 1,49 g/cm³. Así, la diferencia entre las humedades naturales y las humedades óptimas de esas muestras es de 15% a 70%.

Como se ha dicho para Borja, esa diferencia es difícil de reducir económicamente durante la construcción del núcleo.

Los cuerpos de prueba para los ensayos de permeabilidad fueron moldeados en la humedad óptima y con la densidad seca igual a 98% de la densidad seca máxima del ensayo de compactación. En estas condiciones se obtuvo coeficientes de permeabilidad entre $1,3 \times 10^{-5}$ cm/s y $7,7 \times 10^{-7}$ cm/s.

El material de la capa inferior de las áreas I, II, III y IV

ANEXO II - GEOLOGIA, SISMOLOGIA Y MECANICA DE SUELOS

es una grava arenosa con 15% a 75% de guijarros y 2% a 40% de finos (limo y arcilla).

En las partes donde la grava tiene menos de 5% de finos, el material es adecuado para la construcción de los espaldones.

Una muestra de los depósitos aluviales del cauce del río en frente del área IV contiene aproximadamente 3% del limo y arcilla, 25% de arena, 30% de grava y 45% de guijarros y bloques.

Una muestra de arenisca fue molida y ensayada. El material tiene aproximadamente 40% de finos y 50% de arena fina. La permeabilidad de este material cuando es compactado es de $6,7 \times 10^{-5}$ cm/s, muy baja para un filtro.

Para la mayor parte del escollero, transiciones y filtros se prevé actualmente el empleo de andesitas porfiríticas trituradas de la cantera.

4.4 SALADO

4.4.1 Consideraciones Generales

El sitio de presa Salado está ubicado 1.300 m aguas abajo de la con-

ANEXO II - GEOLOGIA, SISMOLOGIA Y MECANICA DE SUELOS

confluencia de los Ríos Salado y Quijos. Tendrá una altura de 100 m tomados desde la cota del caudal medio del río, 1.260 m a la cota 1.360 m que es la de coronación; la longitud del eje de presa es de 1.100 m. En el flanco derecho de la presa se construirán 2 túneles de desvío con diámetros de 12.5 m cada uno y una longitud de 700 m aproximadamente, y paralelos entre sí; la cota de entrada de dichos túneles es de 1.262 m y la de salida 1.257 m. Sobre los túneles de desvío se construirán dos túneles de baja presión con una longitud de 370 m hasta la chimenea de equilibrio; la casa de máquinas deberá ser construida a cielo abierto.

La presa prevista en esta etapa es de escollera y se la construirá sobre rocas intrusivas granodioríticas y volcánicas de la formación Misahualli, aflorantes en los flancos derecho e izquierdo y cubiertas en la margen izquierda por terrazas de material aluvial con potencia aproximada de 80 m.

Con el objeto de obtener datos más detallados sobre el sitio donde se construirá la presa, se ha realizado estudios geológicos superficiales a escala 1:5.000 sobre una superficie de aproximadamente 18 km². Se efectuaron un total de 4.320 m de perfiles sísmicos de refracción y 12 sondeos de electroresistividad y se excavaron 3 pozos investigatorios y 3 trincheras.

También fueron realizados estudios y análisis petrográficos de las

ANEXO II - GEOLOGIA, SISMOLOGIA Y MECANICA DE SUELOS

muestras obtenidas en la zona principalmente de las granodioritas. Para obtener datos sobre la calidad y cantidad del material impermeable para la presa se realizaron sondeos exploratorios a barreno en las áreas de préstamo ubicadas a 13 km hacia El Chaco desde el eje de presa. Para el estudio de gravas y arenas se tomaron muestras de campo de los depósitos aluviales y se estudió un sitio para la localización de una cantera.

4.4.2 Geología del Sitio de Presa

El área estudiada presenta una topografía diferente en ambos márgenes del río; mientras la margen derecha presenta pendientes de hasta 60° de inclinación, constituidos de rocas granodioríticas y volcánicas, cubiertas por suelos detríticos, la margen izquierda desde el nivel del río (cota 1.260 m) hasta las cotas 1.300-1.350 m los depósitos terrazados aluviales forman pequeñas planicies interrumpidas en su parte derecha por un macizo rocoso de forma piramidal con fuertes pendientes hacia el río originando un estrechamiento del lecho hasta 30 m. Desde la cota 1.350 m hacia arriba nuevamente se forman pendientes rocosas de hasta 40°. Tanto en el flanco derecho como en el izquierdo al pie de las pendientes hay depósitos de material coluvial de espesor y superficie variables.

Litológicamente el sitio de presa está constituida por rocas volcánicas de la formación Misahualli, rocas intrusivas granodioríticas

ANEXO II - GEOLOGIA, SISMOLOGIA Y MECANICA DE SUELOS

depósitos aluviales terrazados modernos, depósitos aluviales contemporáneos y depósitos coluviales (Lámina N° HS/IA-442-GM-077).

Las rocas volcánicas de la formación Misahualli (JK) son las rocas que presentan una mayor superficie en el área de estudio. Tienen coloraciones diversas que van de gris, gris-verdoso a gris-claro y amarillentas. Son duras, compactas, con diaclasas lisas y cortantes. En las zonas de contacto con el cuerpo intrusivo se presentan silicificadas, bien diaclasadas, con mineralización de pirita y calcopirita. Son más preponderantes las lavas andesíticas de color gris-verdoso a verde con una laminación de flujo concordante con la estratificación de las tobas presentes fuera del área de estudio.

Las diaclasas más representativas son: N 20 W; 60 SW; N 85 W; 75 NE; N 70 E; 85 NW y N 65° W; 90°

En el sitio de la presa, intruyendo las rocas volcánicas de la formación Misahualli hay un cuerpo granodiorítico de forma piramidal cubierto en una gran superficie por material aluvial, que servirá de soporte a la presa Salado. Las granodioritas superficialmente están muy alteradas aunque en la margen derecha en la línea del eje. Se observaron buenos afloramientos que forman cascadas de hasta 15 m en la que se localizó una pequeña fractura de 0,6 m rellena de cuarzo blanco lechoso con presencia de mineralización.

ANEXO II - GEOLOGIA, SISMOLOGIA Y MECANICA DE SUELOS

Las granodioritas macroscópicamente son de color gris claro con moteados negros, planos de fractura oxidados, con estructura masiva, compacta y textura hipidiomórfica granular; los principales minerales son el cuarzo, plagioclasa, feldespatos potásicos, hiperstena, pigeonita, biotita, muscovita; como producto de alteración está la clorita. Microscópicamente presenta una textura hipidiomórfica, halocritalina, con tamaño de los cristales 2,1 x 1,5 mm y medidos en plagioclasa, dando una granulocidad fina a media, heterogranular, orientados irregularmente.

La presencia de la plagioclasa zonada puede indicar un enfriamiento relativamente rápido del cuerpo intrusivo cerca al contacto con la roca encajante.

Superficialmente presentan un intenso diaclasamiento, siendo de mayor preponderancia el vertical o casi vertical, con rumbos NW-SE, NE-SW y un horizontal de enfriamiento.

Los depósitos aluviales terrazados modernos en el área de presa ocupan apreciables superficies en la parte alta del paleocauce, donde está ubicada la estación de bombeo del Salado. Estas terrazas están formadas de limo-arenoso, arenas finas a gruesas y gravas con tamaños preponderantes de 3 a 30 cm (se han encontrado bloques de mayor tamaño pero esporádicos). Estos materiales están formando capas y lentes de espesores variables que, en

ANEXO II - GEOLOGIA, SISMOLOGIA Y MECANICA DE SUELOS

conjunto, tienen una potencia de 80 a 90 m (datos obtenidos de las investigaciones sísmicas).

Sobre los depósitos terrazados modernos en unos casos y sobre rocas granodioríticas y volcánicas en otros, se ha depositado material aluvial constituido de gravas con tamaños entre 5 y 30 cm principalmente redondeados y subredondeados, de rocas metamórficas, intrusivas, sedimentarias y volcánicas recientes y bancos de arena fina a gruesa de \pm 3 m de espesor. En algunas partes se han formado acumulaciones originando pequeñas islas cubiertas parcialmente de vegetación.

Los depósitos coluviales están presentes principalmente, en el sitio del eje de presa, en la margen izquierda ocupando una apreciable superficie y en el flanco derecho a unos 1.500 m aguas arriba del eje. Estos depósitos coluviales están constituidos de bloques y pedazos de rocas dioríticas y volcánicas de la formación Misahualli mezclados con arenas, limos y arcillas. El espesor de estos depósitos no sobrepasa los 12-15 m.

De acuerdo a las investigaciones geológicas superficiales, en el área de presa no se localizaron fallas estructurales. En lo que respecta a diaclasas se elaboró un estereodiagrama de las rocas intrusivas granodioríticas, dando como resultado orientaciones principales de NNO-SSE y E-O y buzamientos que oscilan en el primer

ANEXO II - GEOLOGIA, SISMOLOGIA Y MECANICA DE SUELOS

caso, de 60° a 90° y en el segundo de 5° a 10°, producto éstas últimas del enfriamiento del cuerpo intrusivo.

Según los datos proporcionados por las investigaciones geofísicas (ver Apéndice I) en el sitio de presa Salado, en el cual fueron ejecutados un total de 4.320 m de perfiles sísmicos y 12 sondeos de electroresistividad (los sondeos eléctricos fueron efectuados para llenar la discontinuidad en los perfiles sísmicos, causados por la interferencia sísmica de la estación de bombeo), se tiene que el límite de refracción más profundo varía de 3.170 a 6.100 m/s que se las interpreta como superficies de roca sana y, que inciden en dos grupos distintos (ver Lámina N° HS/IA-442-GM-100):

<u>Grupos</u>	<u>Rango de Velocidad</u> m/s	<u>Clasificación sugerida</u>
A	3.170 - 3.350	Rocas volcánicas jurásicas (formación Misahualli)
B	4.750 - 6.100	Intrusivo granodiorítico

Respecto a los sondeos eléctricos en la roca tenemos los resultados siguientes:

<u>Grupos</u>	<u>Resistividad</u> Ohm - m	<u>Clasificación sugerida</u>
A	40 - 640	Rocas volcánicas jurásicas (formación Misahualli)
B	900 - 19.000 +	Intrusivo diorítico

ANEXO II - GEOLOGIA, SISMOLOGIA Y MECANICA DE SUELOS

Cabe indicar que los valores de resistividad del material de cobertura son iguales o mayores que la resistividad del grupo A de ahí que la superficie de las rocas de este grupo no puede ser identificada sólo por la resistividad.

Las características geofísicas del material de cobertura en el sitio Salado son:

<u>Rango de Velocidad</u>	<u>Resistividad</u>	<u>Clasificación sugerida</u>
m/s	Ohm - m	
300 - 575	63 - 6.000	Suelo superficial, zona sísmica aireada
675 - 1.800	33 - 1.140	Aluvión, coluvión, escombros de talud
1.600 - 2.100	58 - 300	Alteración de la granodiorita

Las velocidades sísmicas del aluvión y de la granodiorita meteorizada son similares, lo que hace difícil la diferenciación sólo por medidas sísmicas.

En el eje de presa, en el estribo derecho, se excavaron dos trincheras (TR-S-1 con 15 m de longitud, y TR-S-2 con longitud de 10 m). La profundidad media no es mayor de 1,2 m ya que afloraron rocas medianamente alteradas. En la margen izquierda, se excavaron 4 pozos, con distintas profundidades en el intrusivo granodiorítico, mostrándose superficialmente una alta meteorización (ver Lámina N° HS/IA-442-GM-099).

ANEXO II - GEOLOGIA, SISMOLOGIA Y MECANICA DE SUELOS

En base a todos los estudios realizados en el sitio de cierre de presa, podemos concluir lo siguiente:

- a) Gran parte de la presa será construida sobre una terraza de materiales aluviales no consolidados de aproximadamente 80 a 90 m de espesor.
- b) Para el apoyo del núcleo de la presa y espaldones, el material aluvial deberá ser removido (15 a 20 m), combinado con el tratamiento de las cimentaciones por inyecciones y/o drenaje.
- c) Con el objeto de obtener datos más exactos de la geología y aseverar los datos de las investigaciones geofísicas se deberán efectuar perforaciones y pruebas geotécnicas tanto en el área de apoyo de presa como en la del aliviadero, túneles de desvío, de conducción y casa de máquinas.
- d) En la etapa de factibilidad se programará la construcción de galerías exploratorias para el estudio de las condiciones geológicas en los túneles y apoyo de la presa. En estas galerías deberán ser previstos ensayos de mecánica de las rocas.

4.4.3 Geología de los Túneles de Desvío y de Conducción a la Central y del Vertedero

La variante seleccionada de una presa de escollera, prevé el desvío

ANEXO II - GEOLOGIA, SISMOLOGIA Y MECANICA DE SUELOS

por la margen derecha a través de 2 túneles con 12,25 m de diámetro cada uno y aproximadamente 700 m de longitud y el vertedero en la margen izquierda.

Tanto los túneles de desvío como el de la conducción a la central incidirán en rocas intrusivas granodioríticas. Estas rocas se presentan bastante fracturadas y alteradas desde la superficie hasta un promedio de 40 m de profundidad.

En la Lámina N° HS/IA-442-GM-098 se presentan los principales aspectos geológicos de los túneles de desvío, de conducción a la central y del vertedero.

No se detectó la presencia de fallas en el sector de los túneles pero el sistema de fracturamiento podrá ser un factor de gran importancia en el condicionamiento geológico-geotécnico de estas rocas.

Las orientaciones predominantes de las diaclasas son presentadas en la Lámina N° HS/IA-442-GM-097.

El espaciamiento observado entre estas fracturas es de 30 a 40 cm en promedio. Geotécnicamente la roca granodiorítica presenta condiciones adecuadas a los trabajos de perforación de los túneles. Sin embargo se prevé la necesidad del empleo de pernos de anclaje

ANEXO II - GEOLOGIA, SISMOLOGIA Y MECANICA DE SUELOS

y/o entibado y/o concreto lanzado con el objeto de evitar el desprendimiento de bloques e infiltraciones importantes a través de las fracturas. En los sectores cercanos al contacto del cuerpo intrusivo con las rocas volcánicas encajantes el fracturamiento deberá ser bastante intenso.

En la profundidad prevista para los túneles el fracturamiento deberá estar relativamente cerrado; cumple destacar que las únicas observaciones directas al respecto fueron realizadas en superficie en donde las fracturas se presentan abiertas.

El canal de entrada de los túneles de desvío incidirá en las mismas rocas granodioríticas descritas anteriormente. Debido al fracturamiento existente se prevé la necesidad de estabilización de bloques aislados a través de pernos de anclaje. Los taludes del corte considerados en esta etapa son de 4:1 en la roca sana y de 2 ó 3:1 en la parte meteorizada.

El canal de salida incidirá en rocas granodioríticas alteradas y fracturadas y en depósitos aluviales terrazados y actuales. Debido a la poca consolidación de los depósitos aluviales las pendientes de los cortes no deberán exceder de 1:1.

El vertedero, localizado en la margen izquierda del Río Coca, incidirá principalmente en las rocas granodioríticas y secundariamente

ANEXO II - GEOLOGIA, SISMOLOGIA Y MECANICA DE SUELOS

en las rocas volcánicas de la formación Misahualli recubiertas por depósitos aluviales terrazados y modernos.

En las partes no revestidas del vertedero, los taludes en la granodiorita alterada deberá ser de 2:1 y de 1:1 en el material aluvial. Eventualmente serán necesarios pernos de anclaje para la estabilización de bloques aislados por el fracturamiento. En roca sana se admiten taludes de 4 ó 5:1.

En lo que respecta a la capacidad de soporte de las rocas a la estructura del vertedero no se preverá problemas de ninguna naturaleza.

La casa de máquinas superficial, estará apoyada en rocas granodioríticas. La excavación incidirá en granodiorita y materiales aluviales, siendo válido en este caso las mismas observaciones realizadas anteriormente para las excavaciones del vertedero y canales.

4.4.4 Geología del Embalse

Tomando como base la cota máxima 1360 m, el embalse se extenderá 16,8 km aguas arriba en el Río Quijos y en el Río Salado 9 km. El Río Quijos presenta una orientación general N-S con variaciones de su curso; así desde el km 64 al km 67 tiene una dirección N 70° E, entre los km 68 y km 71 forma un codo tomando la dirección de N 60°W

ANEXO II - GEOLOGIA, SISMOLOGIA Y MECANICA DE SUELOS

y desde este punto cambia la dirección a N 70° E hasta el km 74, continuando en esta dirección hasta la cota de embalse en el km 79+800. El Río Salado desde su confluencia con el Río Quijos, toma una dirección E-W con variaciones en su curso poco pronunciadas, hasta la cola de embalse. Tanto el Río Quijos como el Río Salado corren por valles amplios limitados por laderas rocosas cuyas pendientes varían entre 40° y 60°. En el fondo de estos valles se han formado pequeñas playas de material aluvial, algunas directamente sobre las rocas del sustrato y otras sobre terrazas aluviales antiguas que en muchos casos forman taludes casi verticales, muy inestables. Debido a los flancos de gran pendiente son muy frecuentes los desprendimientos de material detrítico y bloques angulosos ocasionados generalmente por diaclasamiento y que se acumulan en el pie de pendiente.

Litológicamente el área del embalse está constituido de rocas volcánicas de la formación Misahualli, areniscas cuarzosas de la formación Hollín, rocas intrusivas granodioríticas, depósitos aluviales terrazados modernos y depósitos terrazados contemporáneos (ver Lámina N° HS/IA-442-GM-101).

En el área del embalse las rocas volcánicas de la formación Misahualli son las que ocupan la mayor superficie y una de las más competentes por sus características litológicas. Esta formación tiene gran variedad de rocas volcánicas, pero las que prevalecen son las

ANEXO II - GEOLOGIA, SISMOLOGIA Y MECANICA DE SUELOS

lavas andesíticas y las tobas porfíricas. Las lavas andesíticas presentan una coloración gris-verdosa a verde con fenocristales de plagioclasa en una matriz afanítica; se puede ver una pseudo-estratificación, con coloraciones verdosas diferentes. Esta pseudo-estratificación es concordante con la de las tobas porfíricas.

Las tobas porfíricas, tiene una coloración gris a gris-verdosa, y amarillentas. Cuando hay silicificación son bien duras, compactas y con diaclasas lisas y cortantes. Presentan una textura porfírica con fenocristales feldespáticos en una matriz afanítica vítrea. No se observó la presencia de ignimbritas que forman parte de la formación Misahualli en otras zonas. En el área del embalse no se ha podido determinar su espesor pero se la estima en unos 650 m.

En el área del embalse, las areniscas de la formación Hollín afloran en el Río Salado a la altura de la cota 1.350 en la cola de embalse formando farallones casi verticales. Descansan discordantemente sobre las rocas volcánicas de la formación Misahualli; son areniscas cuarzosas de color blanco o amarillo. En algunos casos presentan un aspecto sacaroidal de grano fino a grueso, formando estratos gruesos y delgados separados localmente por finas capas de lutitas negras o gris-oscuras. Internamente las capas de areniscas presentan estratificación cruzada y algo ondulada, depositados en ambiente de plataforma. En el área de estudio no se constató la potencia total que en el Codo Sinclair alcanza a 150 m. Cerca a la estación hidrométrica del INAMHI, en la tarabita, estas areniscas

ANEXO II - GEOLOGIA, SISMOLOGIA Y MECANICA DE SUELOS

tienen un rumbo aproximada este-oeste con 10° de buzamiento al norte.

Las rocas intrusivas granodioríticas afloran únicamente en el sitio de la presa. El cuerpo presenta una forma irregular y está cubierto en una gran superficie por materiales aluviales terrazados del antiguo cauce del río.

Macroscópicamente presenta una coloración gris claro con moteados negros y oxidación en los planos de fractura. Son macivas, hipidioríticas, granulares, de hasta 3×1.5 mm y un promedio con 0.9×0.6 mm medidos principalmente en plagioclasas. Los minerales principales son la plagioclasa con 48%, subhedral a anhedral de color café pálido con zonación y maclas combinadas de albita-carlsbad, con inclusión de sericita y epidota; los feldespatos potásicos en 12%; el cuarzo en 10% con extinción normal rellanando intersticios; la biotita con bordes verdosos por la cloritización la horblenda pleocroica subhedral a anhedral, ligeramente cloritizada. Cabe señalar que la zonación de los cristales de plagioclasa indican un enfriamiento rápido del cuerpo intrusivo en las zonas de contacto con las rocas encajantes. Se observó la presencia de calcita como mineral de alteración, y también sulfuros y magnetita.

Los depósitos aluviales terrazados se los puede observar a lo largo del río y en ambas márgenes. En algunos sitios presentan taludes

ANEXO II - GEOLOGIA, SISMOLOGIA Y MECANICA DE SUELOS

casi verticales y descansan sobre rocas volcánicas de la formación Misahualli y cubiertos en su mayoría por material aluvial contemporáneo y suelo vegetal. Están constituidas por arenas finas a gruesas, limo arenoso y gravas de diferentes tamaños, redondeados y subredondeados, con un material arcillo-limoso y arenoso que sirve de matriz no coherente. No se ha podido establecer exactamente el espesor de estos depósitos, sin embargo se estima en 90 m en determinados lugares.

Los depósitos aluviales contemporáneos están cubriendo en muchos sitios a los depósitos terrazados modernos; en otros, se ha observado un contacto directo con las rocas que sirven de base. Generalmente estos depósitos están constituidos por material limo-arcilloso, arenas finas a gruesas, gravas con tamaños entre 3 y 10 cm predominantemente aunque se pueda observar bloques esporádicos de tamaños mayores. Estas gravas son de composición diversa, de rocas intrusivas, metamórficas, volcánicas y sedimentarias, con predominancia de las dos primeras. El espesor es estimado en 10 a 15 m. A lo largo del río, sobre estos depósitos, se han acumulado capas de limo arcilloso, formándose islas sobre las cuales han crecido arbustos de especies diferentes.

Por la presencia de grandes pendientes en el área de embalse, se ha observado una serie de acumulaciones al pie de los taludes; están constituidos de bloques angulosos de diferentes tamaños, mezclado

ANEXO II - GEOLOGIA, SISMOLOGIA Y MECANICA DE SUELOS

con limo y arcilla que les sirve de matriz. La composición de estos depósitos coluviales varía según el tipo de roca que forman las pendientes. Los depósitos coluviales del Río Quijos están compuestos de rocas volcánicas de la formación Misahualli y esporádicos bloques de areniscas cuarzosas; en el Río Salado se han encontrado coluvios de rocas sedimentarias y volcánicas.

El área de embalse está cruzada por una serie de fracturas y fallas, entre las cuales cumple destacar: en el km 67,0 se localizó una falla vertical con rumbo N 24° E, localizada también en el Río Salado y cubierta por material aluvial; en el km 70 una falla inferida que presenta rumbo N 61° E; más hacia el sur en el km 71, cerca a la desembocadura del Río Murallas, una falla vertical que está cubierto por terrazas aluviales y que tiene un rumbo N 45° W. Siguiendo hacia el sur no se localizaron fallas de consideración pudiéndose solamente observar diaclasas en todos los afloramientos. En el Río Salado en la cota de embalse se anotaron dos fallas, que por estar cubiertas por depósitos coluviales no pudieron ser confirmadas.

En lo que respecta a la estanqueidad del embalse, los estudios y observaciones realizados en esta etapa permiten afirmar que no habrán fugas de agua hacia otras cuencas.

A pesar de la presencia de pendientes fuertes en ambas márgenes

ANEXO II - GEOLOGIA, SISMOLOGIA Y MECANICA DE SUELOS

de los Ríos Quijos y Salado no se han localizado indicios de una alta inestabilidad. Fueron observados unicamente desprendimientos pequeños de material detritico que cubren las pendientes rocosas en épocas de intensas lluvias. En zonas donde el embalse no cubre totalmente las terrazas aluviales, principalmente en la cola de embalse, se prevé derrumbes y asentamientos por la verticalidad de sus taludes cuando se haga el llenado del embalse. Sin embargo, los volúmenes de material deslizado es reducido y no comprometería la seguridad de la presa.

4.4.5 Materiales de Construcción

a. Investigaciones de Campo

Para el material impermeable del núcleo de la presa, fue estudiada una área de préstamo localizada, aproximadamente, 12 km aguas arriba del eje de presa, por la carretera Salado-El Chaco.

El material presente es producto de la alteración de lutitas carbonosas de la formación Napo, con abundante material orgánico fósil.

La superficie estimada es de $2,8 \times 10^6 \text{ m}^2$ y en la cual fueron ejecutados 33 sondeos a barreno y 4 pozos exploratorios, con obtención de muestras representativas para ensayos de laboratorio (ver Lámina N° HS/IA-442-GM-102).

ANEXO II - GEOLOGIA, SISMOLOGIA Y MECANICA DE SUELOS

La profundidad promedio de los sondeos a barreno fue de 4 m y de 5 m en los pozos exploratorios. A estos valores se podría aumentar 2 m de lutitas alteradas, las mismas que serán estudiadas en mayor detalle en la etapa siguiente de los trabajos.

El volumen total disponible está estimado en $16,8 \times 10^6 \text{ m}^3$.

Al lado de esta área seleccionada fue estudiada otra, en la cual se efectuaron 9 sondeos a barreno para el chequeo del espesor de material utilizable, resultando entre 4 y 6 m.

Los yacimientos de material aluvial, constituidos de arena fina a gruesa y gravas, se encuentra localizado aguas arriba y aguas abajo del eje de presa. Su volumen no ha sido calculado, razón por la cual se recomienda la ejecución de algunas perforaciones para determinar su espesor y la calidad del material. Los pozos excavados a mano no llegaron a profundidades mayores de 2 m debido a la presencia de la napa freática. El volumen sin embargo, parece ser suficientemente grande para las necesidades previstas.

Aguas abajo del eje de presa, en la margen izquierda y a una distancia no superior a 3 km, fue localizado un sitio adecuado a la implantación de una cantera. Se trata de rocas volcánicas de la formación Misahualli, duras y masivas, las mismas que constituyen buen material para el enrocamiento y agregado grueso del concreto. El volumen es ilimitado.

ANEXO II - GEOLOGIA, SISMOLOGIA Y MECANICA DE SUELOS

b. Investigaciones de Laboratorio

Los tipos y métodos utilizados para los ensayos fueron los mismos que los descritos para Borja en el ítem 4.1.5. Sin embargo, los ensayos de caracterización fueron ejecutados sin secado de las muestras y los ensayos de permeabilidad sin secado total de las muestras. Las determinaciones del contenido de materia orgánica fueron hechos según el método de ignición.

El material del área de préstamo N° I es una arcilla limosa, color café amarillento a amarillento, plástica, no dispersiva, de origen residual.

Del gráfico de plasticidad presentado en la Lámina N° HS/IA-442-GM-102 se observa la gran variación de los valores del límite líquido, entre 40% y 300%. Casi todos los puntos están situados abajo de la línea A, como es común para suelos tropicales, de alteración "in situ" de rocas en regiones húmedas.

La humedad natural del material es muy alta, normalmente entre 90% y 170% (70% de los valores), con valores extremos de 20% y 260%.

Las humedades óptimas, obtenidas para las muestras sometidas a

ANEXO II - GEOLOGIA, SISMOLOGIA Y MECANICA DE SUELOS

ensayos de compactación, variaron de 50% a 100% (87% de los valores), con valores extremos de 16% y 116%, y las densidades secas máximas entre $0,68 \text{ g/cm}^3$ y $1,07 \text{ g/cm}^3$ (87% de los valores) con valores extremos de $0,62 \text{ g/cm}^3$ y $1,71 \text{ g/cm}^3$. Así, la diferencia entre las humedades naturales y las humedades óptimas de esas muestras varían de 30% a 84% para 91% de los valores. Esta diferencia es muy difícil de reducir técnica-económicamente durante la construcción del núcleo.

Los cuerpos de prueba para los ensayos de permeabilidad fueron moldeados en la humedad óptima y con la densidad seca igual a 98% de la densidad seca máxima del ensayo de compactación. Se obtuvo coeficientes de permeabilidad entre $4,2 \times 10^{-8} \text{ cm/s}$ y $3,9 \times 10^{-5} \text{ cm/s}$.

El contenido de materia orgánica, determinado por el método de ignición, varía, para las muestras sometidas a este ensayo, entre 5% y 27%. Los valores altos dependen en parte del hecho que las arcillas de lutita contienen carbonatos, que se queman con este método y así se muestra una pérdida que no es de materia orgánica.

Determinaciones de la granulometría de algunas muestras tomadas del cauce del río aguas arriba y abajo del eje de la presa, muestran que la gran parte de esas muestras consisten en gravas

ANEXO II - GEOLOGIA, SISMOLOGIA Y MECANICA DE SUELOS

arenosas con 0% a 35% de guijarros y 1% a 5% de limo y arcilla. Otras partes del cauce del río contienen arena. Un ensayo hecho muestra una arena con 8% de limo y arcilla con la permeabilidad de $3,8 \times 10^{-3}$ cm/s.

Las gravas arenosas son adecuadas para la construcción de los espaldones de la presa.

Para el empleo de la arena para filtros es necesario el lavado de la misma para disminuir el contenido de limo y arcilla hasta el máximo de 3%.

4.5 MALO - CODO SINCLAIR

4.5.1 Consideraciones Generales

El sitio de presa Malo se halla ubicado en el Río Coca, en el km 52+730, 300 m aguas abajo de la desembocadura del Río Malo. El acceso al sitio se lo hace directamente por medio de la carretera El Chaco-Lago Agrio, la misma que pasa por el eje de presa (ver Lámina N° HS/IA-442-GM-067).

La presa proyectada es de escollera. La cresta llega a la cota 1.265 m. Se trata de una presa de derivación, que servirá para

ANEXO II - GEOLOGIA, SISMOLOGIA Y MECANICA DE SUELOS

enviar las aguas del Río Coca, a través de un túnel y un embalse compensador hasta el Codo Sinclair en donde estará localizada la casa de máquinas subterránea.

Los volúmenes de material requerido para la construcción de la mencionada presa son:

- Material impermeable:	128.000 m ³
- Material para escollera:	702.000 m ³
- Material para filtros:	331.000 m ³
- Material para rip-rap:	67.900 m ³

En el área de la presa proyectada se han ejecutado las siguientes investigaciones:

- . Mapeo geológico de superficie, de un área aproximada de 0,8 km²
- . Investigaciones geofísicas:
 - sísmica de refracción: 5.677 m de perfiles
 - resistividad - sondeos eléctricos verticales (SEV): 8 sondeos
- . Excavación de 10 trincheras: 6 en la margen izquierda y 4 en la margen derecha.

ANEXO II - GEOLOGIA, SISMOLOGIA Y MECANICA DE SUELOS

4.5.2 Geología del Sitio de Presa

La zona en donde irá ubicada la presa se presenta como un valle asimétrico. En la margen derecha hay una planicie aluvial de aproximadamente 200 m de ancho, al final de la cual nace un talud con una inclinación de aproximadamente 45° que avanza sobre la cota 1.500 m. La margen izquierda se caracteriza por un desarrollo más amplio de la planicie aluvial, con un ancho promedio de 400 m, la misma que está encubriendo un lahar y parcialmente los depósitos piroclásticos. El lahar posiblemente se originó aguas arriba de la Quebrada Loco Larriva y avanzó por la margen izquierda de la misma quebrada hasta el cauce mismo del Río Coca. Los depósitos piroclásticos se localizan inmediatamente aguas abajo del lahar y su deposición abarca parte de la margen derecha. Uno de los dos depósitos mencionados, o los dos posiblemente, represaron el Río Coca y dieron origen a una laguna que avanzó hasta la desembocadura del Río Salado. Al final de la planicie aluvial de la margen izquierda nace un talud de 30° de inclinación que avanza sobre la cota 1.550 m.

La asimetría del valle se origina por cuanto el cauce actual del río está pegado al estribo derecho.

En el área estudiada afloran rocas de diferentes tipo, que conforman el sustrato y el material de cobertura (ver Lámina N° HS/IA-

ANEXO II - GEOLOGIA, SISMOLOGIA Y MECANICA DE SUELOS

442-GM-103). Las rocas del sustratos están representadas por lavas y aglomerados.

Las rocas de cobertura son: terrazas aluviales modernas, aluviales actuales, depósitos piroclásticos, coluviales y lahares.

Las lavas (JK) se localizan tanto en la margen derecha como en la izquierda. En la margen izquierda afloran en el farallón que nace de la planicie aluvial en cotas superiores a 1.300 m. Afloramientos inferiores a esta cota están ubicados en el extremo norte del área. En la margen derecha afloran sobre la planicie aluvial, al frente de la desembocadura del Río Malo.

Fue posible identificar 2 variedades petrográficas en la margen izquierda:

- . Lavas color gris, criptocristalinas, estructura compacta, generalmente fresca y bastante dura. Las lavas son intermedias, tipo andesítico.
- . Lavas color verdoso a amarillento, muy alteradas; fácilmente se disgregan con el martillo y sin mineralogía reconocible. En la margen derecha únicamente se identificó la primera variedad de rocas criptocristalinas color gris. Estas lavas pertenecen a la formación Misahualli.

ANEXO II - GEOLOGIA, SISMOLOGIA Y MECANICA DE SUELOS

Los aglomerados afloran en pequeña proporción tanto en los taludes de la margen derecha como izquierda, 100 m aguas arriba del eje en la margen izquierda y en el eje en la margen derecha.

Estos depósitos son de color gris claro a café rojizo, conformados por fragmentos de rocas volcánicas cementadas en matriz tobácea.

Los fragmentos tienen dimensiones predominantes entre 0,20-0,40 cm, aunque se determinaron fragmentos de hasta 2 m de diámetro.

La matriz tobácea consiste en fragmentos líticos de hasta 5 cm, los cuales se hallan medianamente alterados.

El conjunto se halla bastante cementado y por lo tanto se presenta estable.

Los depósitos piroclásticos afloran en la margen derecha, en el lado oriental y bajo una parte del aluvial de la margen izquierda, entre el eje de la presa y una terraza aluvial moderna. Están compuestos de fragmentos y partículas con granulometría de arena y grava de hasta 0,15-0,20 m de diámetro, predominando dimensiones menores. El conjunto se halla sin cohesión por lo que los taludes formados por este material son inestables.

ANEXO II - GEOLOGIA, SISMOLOGIA Y MECANICA DE SUELOS

Los depósitos laháricos se localizan exclusivamente en la margen izquierda, a ambas orillas del Río Loco Larriva, y se extienden hasta unos 20 m aguas abajo del eje de la presa; están recubiertos por depósitos aluviales de aproximadamente 2 m de espesor. En la parte occidental de la zona este lahar se lo identificó en el farallón que nace de la planicie aluvial.

Se pudo identificar dos niveles en esta corriente barrosa:

- Un nivel inferior cuyo afloramiento típico está en el cauce mismo, en la confluencia del Río Loco Larriva y el Río Coca, con una potencia visible de 4-5 m. Está conformado por material arcillo-limoso color café, bastante plástico, poco cohesionado, con pequeñas intercalaciones caóticas de lentes estratiformes, tipo lacustre. Estos depósitos incluyen troncos de árboles de hasta 0,30 m de diámetro dispuestos al azar.
- El segundo nivel, suprayacente al descrito, tiene una potencia total de hasta 50 m, encontrándose afloramientos típicos en la margen izquierda del Río Loco Larriva (aguas arriba del puente de la carretera Baeza-Lago Agrio y en el farallón que se forma en esa misma margen del Río Loco Larriva). Este ni-

ANEXO II - GEOLOGIA, SISMOLOGIA Y MECANICA DE SUELOS

vel se caracteriza por la presencia del material fino, limo-arcilloso, que se halla cementando a bloques redondeados y angulares. Se nota un predominio de los rodados sobre la matriz. Los rodados son tanto de tipo efusivo como metamórfico. El tamaño de los bloques alcanza hasta 1 m, aunque predominen los diámetros más pequeños. Este segundo nivel se halla más cementado que el primero, y sus condiciones de estabilidad son buenas.

Las terrazas aluviales modernas afloran tanto en la margen izquierda como en la derecha del Río Coca. Los depósitos de la margen derecha son relativamente limitados y alcanzan la cota 1.250 m, mientras los de la margen izquierda tienen gran distribución, alcanzando un ancho de hasta 400 m y llegando hasta la cota 1.270 m.

Estos depósitos se hallan compuestos predominantemente de gravas, con menor cantidad de rodados, de 20-30 cm de diámetro débilmente cementados por una matriz arenosa, existiendo en ciertas zonas predominio de las arenas. El conjunto se muestra poco estable y bastante permeable.

La potencia de los depósitos aluviales, de acuerdo a las investigaciones geofísicas (Láminas Nos. HS/IA-442-GM-105 a 107) es muy grande, alcanzando hasta 180 m, habiéndose determinado la presencia de un cauce antiguo en la margen izquierda, en donde se registran los

ANEXO II - GEOLOGIA, SISMOLOGIA Y MECANICA DE SUELOS

mayores espesores. Esta situación no está claramente establecida por lo que será necesario efectuar sondeos mecánicos.

Los depósitos aluviales actuales, son los conformados por el material acarreado y depositado actualmente por el Río Quijos-Coca.

Litológicamente están compuestos por gravas, arenas y cantos rodados, sin ninguna cohesión. La potencia estimada de estos depósitos es de 30-40 m.

Los depósitos coluviales se localizan al pie de los taludes que se encuentran en los extremos de las terrazas aluviales. Están conformados por material heterogéneo, caóticamente distribuido y con mínima cohesión. Generalmente están constituidos por fragmenteos angulosos en una matriz limo arcillosa.

El espesor observado de estos materiales no excede a 10 m.

En el área estudiada, las únicas rocas en donde se pueden apreciar estructuras son las rocas volcánicas de la formación Misahualli. En la margen izquierda se identificaron 2 sistemas de diaclasamiento con una frecuencia que varía de 10 a 30 cm, con las siguientes orientaciones:

. N 15 O / 70 NE

. N 70 E / 80 N

ANEXO - GEOLOGIA, SISMOLOGIA Y MECANICA DE SUELOS

En la margen derecha igualmente se identificaron dos sistemas de diaclasamiento con una frecuencia de 10 a 40 cm, con los siguientes elementos de orientación:

- . N 65 O / 36 S
- . N 10 E / 74 O

Diaclasamiento secundario se identificó con diversas direcciones e inclinaciones.

En lo que respecta a los estudios geofísicos fueron realizados dos tipos de investigaciones:

- . Sísmica de refracción, con una longitud total de 5,7 km.
- . Sondeos eléctricos verticales (SEV), en número de 8.

El resultado de las investigaciones se presenta en el Apéndice I de este informe.

La interpretación geológica de los resultados de los estudios geofísicos consta en las Láminas Nos. HS/IA-442-GM-105, 106 y 107.

Como principal conclusión que se puede obtener de estas investigaciones está la detección de la existencia de un paleocauce en la margen izquierda el Río Coca, en donde se determinó un relleno de

ANEXO II - GEOLOGIA, SISMOLOGIA Y MECANICA DE SUELOS

material de 180 m de espesor en la zona más profunda. El tipo y características de este material deberán ser investigados con la ayuda de sondeos mecánicos. Además se determinaron altas velocidades en ciertas áreas del sustrato, bajo la actual planicie aluvial, lo que sugiere la presencia de una roca intrusiva. Sin embargo las rocas intrusivas más cercanas al sitio de presa se hallan en la zona de la estación de bombeo de El Salado.

En el área de la presa se excavaron 10 trincheras, 6 en la margen izquierda y 4 en la margen derecha.

Tanto la ubicación como los resultados de estas excavaciones son presentados en la Lámina N° HS/IA-442-GM-104.

Estas trincheras se excavaron como apoyo para el mapeo geológico superficial, y también para la determinación de las características del material de cobertura.

Con excepción de la planicie aluvial, los apoyos de la presa irían localizados en material competente.

La zona ocupada por la planicie aluvial tiene el problema de la presencia del lahar, así como el gran espesor del material de relleno del cauce antiguo. Para el futuro se debe prestar singular atención a estos depósitos ultimamente señalado con el objeto de

ANEXO II - GEOLOGIA, SISMOLOGIA Y MECANICA DE SUELOS

establecer sus características y comportamiento, especialmente en lo que se refiere a asentamientos diferenciales y a la permeabilidad.

En los flancos, para el apoyo del núcleo deberá ser removido todo el material orgánico y el coluvial. La situación del aluvial terrazado deberá ser resuelta luego de posteriores investigaciones. También deberán ser removidos los depósitos aluviales actuales.

Una situación geológica particular que interesa a este Proyecto es la influencia que el volcán Reventador podría tener sobre la presa, ya sea en forma de flujos de lava o corrientes barrosas. Para tal efecto se realizó una investigación de la zona del volcán y las direcciones de sus drenajes. Los resultados de esta investigación constan en el "Informe de Comisión al Volcán Reventador" de Junio de 1977, en el cual se destacan dos conclusiones principales (ver Lámina N° HS/IA-442-GM-111):

- . Existe una conexión directa del volcán con el Río Coca, a través de los siguientes cursos fluviales: Río Reventador, Quebrada El Engaño y Río Marker, de norte a sur, respectivamente.
- . Estando la desembocadura del Río Malo, aproximadamente a 5 km del Río Marker no se prevé en caso de una erupción, una conexión directa entre el volcán y el Río Malo.

ANEXO II - GEOLOGIA, SISMOLOGIA Y MECANICA DE SUELOS

De este informe se desprende que no existe probabilidad para que lleguen al sitio de presa o al embalse ni flujos de lava, ni corrientes de lodo.

4.5.3 Geología del Embalse

La zona del vaso se presenta como un valle amplio, con gran desarrollo de las planicies aluviales.

Se pueden distinguir dos tipos de relieves:

- . Relieve de las laderas, que se caracteriza por pendientes empinadas, en partes verticales y que están asociadas a las rocas volcánicas de la formación Misahualli.
- . Relieves aluviales, conformadas por extensas planicies de terrazas y llanuras aluviales, en ambas márgenes del Río Coca.

Considerando la cuenca del Quijos-Coca desde sus inicios hasta el Codo Sinclair, el sector comprendido entre los Ríos Salado y Malo es el que presenta el valle más amplio sugiriendo la posibilidad de la existencia, en este sector y en épocas pasadas, de una gran laguna producto del taponamiento del río probablemente por influencias volcánicas.

ANEXO II - GEOLOGIA, SISMOLOGIA Y MECANICA DE SUELOS

En el área del embalse fueron identificadas las siguientes litologías (Lámina N° HS/IA-442-GM-108):

- Formación Misahualli; las rocas de esta formación afloran tanto en la margen izquierda como derecha, cubiertas parcialmente por depósitos coluviales y terrazas aluviales.

Bajo esta denominación se incluyen algunas variedades de rocas que generalizando se las puede reunir en dos grupos: tobas y lavas.

Las tobas se presentan sin estratificación y estratificadas.

La toba sin estratificación es el tipo de roca más común, observándose los mejores afloramientos en la carretera al norte de la estación de bombeo. Tienen color gris a gris verdoso, textura porfirica con fenocristales de feldespatos y en menor cantidad de maficos en una matriz afanítica vítrea. El diaclasamiento es desarrollado y generalmente irregular.

Las tobas estratificadas afloran en las partes altas de la margen derecha del Río Coca y en la Quebrada Las Ranas en donde existe estratificación cruzada. Son de color gris verdoso y las variedades afaníticas tienen color gris azulado.

ANEXO II - GEOLOGIA, SISMOLOGIA Y MECANICA DE SUELOS

La estratificación es dada por la clasificación granulométrica que varía de afanítica a areniscas fina y brecha. El espesor de las capas varía entre 2 mm y 10 cm. Generalmente el diaclasamiento es regular (diacласas paralelas espaciadas cada 30 cm) pero puede ser más desarrollado e irregular en las tobas afaníticas.

Las lavas son de tipo andesítico y se localizan especialmente en el área escogida para el cierre. La andesita es color gris a verdosa, de afanítica a microgranular con fenocristales de plagioclasa y augita. Presentan una laminación de flujo concordante con la estratificación de las tobas.

Las lavas se presentan resistentes, con diaclasamiento regular.

La potencia de esta formación es superior a 650 m.

Rocas intrusivas; se identificó un cuerpo intrusivo en la zona de la estación de bombeo del Salado en ambas márgenes del Río Coca, en el sitio elegido para el eje de presa El Salado.

En la margen izquierda aflora un morro de forma semicircular, y en la margen derecha conforma el talud del valle.

De acuerdo a su composición mineralógica es clasificada como

ANEXO II - GEOLOGIA, SISMOLOGIA Y MECANICA DE SUELOS

una granodiorita. Se presenta como una roca color gris de estructura macisa y textura hipidiomórfica con oxidación de sulfuros en los planos de fractura. Como minerales principales se hacen presentes plagioclasa, cuarzo, feldespatos potásicos, biotita y hornblenda. Como minerales de alteración existe clorita y carbonatos.

Andesitas; en el sector de la margen izquierda del Río Malo afloran una serie de flujos de andesita con un espesor total de aproximadamente 150 m.

Para cada flujo se ha determinado cierta zonalidad: brecha andesítica inferior, flujo de andesita intermedio y brecha andesítica superior. Los flujos de andesita, con un espesor de 2 a 5 m están constituidas por una roca color claro, con fenocristales milimétricos de augita, plagioclasa y olivino en una matriz fina compuesta de los mismos minerales y vidrio volcánico. Los afloramientos presentan disyunción columnar. Las brechas inferiores y superiores tienen espesores que varían de 1 a 20 m y están compuestos por fragmentos andesíticos subangulares a subredondeados con dimensiones predominantes de 7 a 15 m. La matriz es escasa y de tipo arenoso grueso. El conjunto se presenta compacto y sin estratificación.

ANEXO II - GEOLOGIA, SISMOLOGIA Y MECANICA DE SUELOS

- . Conglomerado Tobáceo; aflora en la margen izquierda del Río Malo, aguas abajo de la Cascada, en una extensión de más de 600 m y con un espesor superior a 50 m. Genéticamente tienen origen mixto: piroclástico y fluvial.

Está conformado por fragmentos heterogéneos subangulares a sub-redondeados de dimensiones que varían de 0,5 a 100 cm. La matriz es arenosa.

El conjunto se presenta compacto con una estratificación grosera definida por los bloques grandes.

- . Tobas; afloran en el cauce inferior del Río Loco Larriva, con una potencia visible de 50 m, aunque seguramente continúen bajo los aluviales del Río Coca. Están compuestas por una mezcla de cenizas que conforman una matriz arenosa, arcillo-arenosa o arcillosa que incluyen fragmentos subangulares de andesita de dimensiones que varían de 1 a 10 cm. El conjunto se presenta con baja compactación, sin estratificación, con propensión a la meteorización.
- . Depósitos Coluviales; se localizan preferentemente al pie de las laderas y están constituidos por el mismo material de las laderas pero disgregado.

ANEXO II - GEOLOGIA, SISMOLOGIA Y MECANICA DE SUELOS

Están conformadas generalmente por fragmentos angulosos en una matriz más fina. No presentan ninguna cohesión y en cortes son inestables.

Por cuanto la alterabilidad de las rocas de la formación Misa-hualli, que son las rocas que predominan en el área, es pequeña, los coluviones no sobrepasan los 10 m de espesor.

La deposición de los sedimentos fluviales en forma de abanicos aluviales, forman en las desembocaduras de ciertos afluentes del Río Coca conos de deyección que son limitados tanto en su distribución areal como en su potencia.

Depósitos aluviales; se han identificado 3 tipos de depósitos aluviales, los mismos que se describen a continuación:

Depósitos aluviales contemporáneos; son los conformados por los sedimentos aluviales que se encuentran en el cauce actual. Están constituidos por rodados, grava y arena sin consolidación.

Terrazas aluviales modernas; se hallan 10 a 20 m elevadas con relación a los depósitos aluviales actuales y son producto de efectos tectónicos acaecidos en la cuenca. Se hallan distribuidas en ambas márgenes del río, predominando los de la margen derecha en el sector medio y en la cola del embalse y los de la margen

ANEXO II - GEOLOGIA, SISMOLOGIA Y MECANICA DE SUELOS

izquierda en el sector más cercano a la zona del cierre.

Están conformadas por gravas y bloques en una matriz arenosa y limosa, presentando alguna cohesión. También se determinaron pequeñas capas de arcilla de origen lacustre.

Terrazas aluviales antiguas se localizan en ambos márgenes del río y son las que más altas se encuentran con relación al cauce actual. El nivel más alto de esta terraza está a 100-130 m sobre el cauce actual.

Están conformadas por gravas y bloques en una matriz arenosa, por lo que se les considera muy permeables. Arcillas plásticas laminadas de tipo lacustre también se han observado en estas terrazas.

Según las investigaciones geofísicas que se realizaron en dos sitios en el valle del Río Coca, entre los Ríos Salado y Malo, se determinó un gran espesor del material aluvial, el mismo que en las partes más profundas alcanzaba cerca de 200 m. Igualmente se determinó la existencia de un cauce antiguo el mismo que continúa hasta la zona elegida para el cierre en donde inicialmente se lo identificó. Estos sitios de investigación corresponden aproximadamente a los sitios en donde se realizaron 2 cortes

ANEXO II - GEOLOGIA, SISMOLOGIA Y MECANICA DE SUELOS

que se adjuntan en la Lámina N° HS/IA-442-GM-108. Posiblemente el origen de estas grandes acumulaciones aluviales sea tectónico a lo que seguramente se sumó la formación de una o algunas lagunas producidas por el taponamiento del río en el área de San Rafael por productos volcánicos o laháricos.

En el Informe de INECCEL "Geología Regional del sector entre los Ríos Salado y Malo" de Marzo de 1976 se diferencian tres fases tectónicas: compresión preterciaria, compresión terciaria y distensión pliocuaternaria. Estos eventos tectónicos fueron identificados en toda el área que involucra dicho informe. El área del embalse Malo es bastante reducida, razón por la cual las estructuras principales pertenecen fundamentalmente a las rocas de la formación Misahualli (fase de compresión preterciaria), aunque lógicamente estas rocas también sufrieron los eventos tectónicos posteriores.

Para estas rocas se establece que las fallas de esta fase tienen direcciones que varían principalmente entre NE-SW y E-W; los buzamientos son subverticales. Existen argumentos estructurales y morfológicos para demostrar que los cursos de los grandes ríos han sido dirigidos por zonas de debilidad creadas por fallas de esta generación (Río Coca, Río Malo).

En el área del embalse aparece unicamente la parte cubierta de dos

ANEXO II - GEOLOGIA, SISMOLOGIA Y MECANICA DE SUELOS

fallas: una de dirección N-S y otra E-W, las mismas que fueron identificadas en rocas localizadas en sitios más altos que la cota del embalse.

Del estereograma de diaclasas presentado en este informe se establece que a pesar de la dispersión de los resultados se puede establecer dos grupos de diaclasas; un grupo de dirección aproximada E-W, y otro de dirección aproximada N-S.

Las rocas del sustrato que afloran en las laderas del área del embalse, están conformadas por rocas ígneas efusivas y asociadas, en donde no se espera ocurran filtraciones primarias, sino filtraciones a través de los planos de diaclasamiento, que no deben ser de importancia para la operación del embalse.

La gran planicie aluvial que ocupa la mayor parte del área del embalse y que alcanza espesores de hasta 200 m se estima sea permeable y por lo tanto sujeta a filtraciones de importancia hacia aguas abajo de la zona de la presa. Por esta razón es importante identificar y establecer las características "in situ" de este material para estimar que tratamiento sería el más factible técnica y económicamente.

En lo que respecta a la estabilidad de las pendientes naturales del embalse, las rocas que más propensas están a deslizamientos son los

ANEXO II - GEOLGIA, SISMOLOGIA Y MECANICA DE SUELOS

depósitos cuaternarios no consolidados, especialmente los depósitos coluviales y terrazas aluviales altas. Los depósitos coluviales se localizan en los pies de los taludes, con espesores no mayores a 10 m por lo que sus deslizamientos no serían de gran importancia.

Las terrazas altas, cuando se encuentren saturadas pueden presentar problemas de estabilidad, los mismos que pueden ser de importancia, dado el volumen de material que puede deslizarse.

4.5.4 Materiales de Construcción

a. Investigaciones de Campo

. Material Impermeable:

Para los volúmenes iniciales que se necesitaba en el proyecto de una presa alta en el sector del Malo, se recomendó utilizar los materiales arcillosos que se estudiaban para la presa El Salado, en vista que tales volúmenes no se encontraban en sitios más cercanos y con accesos factibles. Por cuanto el volumen del material arcilloso en el nuevo diseño de la presa disminuyó considerablemente se puede pensar en utilizar el material arcillo-limoso del lahar de la margen izquierda del Río Loco Larriva, o el material de la matriz arcillosa de las tobas del volcán Reventador, que aflora en el sector de San Rafael, aunque sigue como alternativa la uti-

ANEXO II - GEOLOGIA, SISMOLOGIA Y MECANICA DE SUELOS

lización del material fino que se investigó para la presa El Salado.

. Gravass y material granular

Se consideraron dos fuentes de obtención de gravas y arenas: una área de préstamo constituida por material piroclástico, y otra constituida por el material aluvial actual del río.

El área de préstamo de material piroclástico se denomina "San Carlos" y se encuentra localizado en la margen derecha del Río Coca, a 2 km aguas abajo del eje de la presa. Accesos existen desde el eje hasta la cantera por la carretera Quito-Lago Agrio.

La investigación se efectuó mediante la excavación y muestreo de pozos y trincheras, así como el muestreo de corte naturales. En total se excavaron 3 pozos, 4 trincheras y se muestrearon 3 cortes naturales. El total de muestras ensayadas fue de 9. La Lámina N° HS/IA-442-GM-109 indica la localización y resultados de estas investigaciones.

La superficie estimada del área de préstamo es de $2 \times 10^6 \text{ m}^2$ y considerando una profundidad de excavación de 10 m, se obtendría un volumen de $20 \times 10^6 \text{ m}^3$. En ciertos cortes naturales se observó que el espesor de este material alcanza hasta 50 m.

ANEXO II - GEOLOGIA, SISMOLOGIA Y MECANICA DE SUELOS

Para investigar el material aluvial se tomó una muestra del cauce actual del río cuya ubicación está en la misma lámina anteriormente citada.

b. Investigaciones de Laboratorio

- Los ensayos de caracterización fueron ejecutados según las Normas ASTM.
- El área de préstamo de material impermeable para la construcción del núcleo es la misma que fue investigada para la presa de Salado. Los resultados de los ensayos se encuentran en el ítem 4.4.5 y en la Lámina N° HS/IA-442-GM-102.
- El material del área de San Carlos es una grava arenosa con 5 a 40% de guijarros y 0% a 15% de finos. En las partes donde la cantidad de finos es menor que 5%, el material es adecuado para la construcción de los espaldones.

En el cauce del río hay grandes cantidades de grava. Una muestra sacada y ensayada tuvo 85% de guijarros y bloques y 15% de grava gruesa. Estos materiales son adecuados para los espaldones de la presa; deberán ser mejor investigadas en la fase de los estudios de factibilidad para esta presa.

ANEXO II - GEOLOGIA, SISMOLOGIA Y MECANICA DE SUELOS

4.5.5 Geología del Túnel, Compensador y Central

Las obras que involucran la derivación de las aguas del Río Coca desde el Río Malo hasta el Codo Sinclair se encuentran localizadas en la margen derecha del Río Coca.

El ambiente geológico de la zona en donde están ubicadas estas obras se caracteriza por la presencia de rocas pertenecientes a las formaciones Misahualli, Hollín, Napo y Tena, a más de rocas piroclásticas, ver Lámina N° HS/IA-442-GM-110.

La Formación Misahualli está compuesta de porfiritas, lavas andesíticas, brechas e ignimbritas. Tiene una potencia superior a los 600 m.

La Formación Hollín está compuesta fundamentalmente de areniscas blancas con pequeñas intercalaciones de lutitas. Su potencia máxima alcanza 150 m.

La formación Napo ha sido dividida en tres miembros:

- Napo Inferior: constituido por lutitas calcáreas laminadas con intercalaciones de areniscas glauconíticas y calizas. La potencia máxima alcanza 240 m.
- Napo Medio: presenta una predominancia de calizas con pequeñas

ANEXO II - GEOLOGIA, SISMOLOGIA Y MECANICA DE SUELOS

intercalaciones de lutitas. Su máxima potencia es 100 m.

- Napo Superior: predominan las lutitas calcáreas con pequeñas intercalaciones de finas capas de caliza. La potencia media es de 40 m.

La formación Tena está constituida por arcillotitas y limolitas acompañadas localmente por mantos arenosos, raramente calcáreos. La potencia de esta formación se estima entre 800 y 900 m, aunque no se ha determinado el tope de la formación.

Las rocas piroclásticas están principalmente representadas por tobas arcillosas a arcillo-arenosas que constituyen la matriz de fragmentos volcánicos subangulosos que van desde 1 cm hasta 1 m.

Las formaciones sedimentarias suprayacentes a la formación Misahualli se encuentra estratificadas con buzamientos cercanos a la horizontal y pequeños basculamientos de hasta 6° en diversas direcciones. El diaclasamiento y fracturación son más desarrollado en la formación Misahualli, los cuales no se continúan con la misma intensidad en las formaciones más jóvenes, razón por la cual se lo correlaciona con un tectonismo preterciario.

Las principales fallas determinadas en esta área tiene rumbos que fluctúan de NNE a NNO. Las fallas inferidas y lineamientos foto-

ANEXO II - GEOLOGIA, SISMOLOGIA Y MECANICA DE SUELOS

geológicos tienen 2 direcciones predominantes: N-S y NEE-SOO.

El túnel previsto en este esquema tiene inicio en el sector del Río Malo y termina en el compensador "A", localizado cerca del área del Codo Sinclair.

La longitud total del túnel es de aproximadamente 18,6 km.

Se prevé que el túnel atraviece por la formación Misahualli y la formación Hollín, en un 80% y 20% respectivamente.

La excavación del túnel en la formación Misahualli puede estar afectada en su totalidad por la fracturación de la mencionada formación, la misma que puede influir en la presencia de agua percolada por las mismas fracturas. En la formación Hollín no se espera se produzcan problemas de estabilidad, aunque sin presencia de agua ya que a las rocas de esta formación se consideran semi-permeables.

Problemas de excavación y estabilidad se prevén en la zona de contacto entre las formaciones Hollín y Misahualli, así como en las zonas de falla.

El embalse compensador se halla localizado aproximadamente a 2 km al SO del Codo Sinclair.

ANEXO II - GEOLOGIA, SISMOLOGIA Y MECANICA DE SUELOS

Tanto el embalse de compensación, como el cierre del mismo se hallan ubicados en la formación Napo inferior, compuesta de lutitas, en parte calcáreas, con intercalaciones de areniscas. No se tienen datos muy precisos de la situación geológica del sitio mismo, ya que no hubo como efectuar la visita por falta de bases topográficas adecuadas.

Sería necesario ubicar la presencia de estratos de arenisca y su posición con respecto al vaso y al cierre, ya que estos estratos son semipermeables y podrían ocasionar filtraciones.

La presencia de karts deberá ser investigada, pues en áreas vecinas se tiene indicios de la presencia de estos fenómenos.

La excavación en las lutitas calcáreas será un problema que tendrá que ser solucionado con empleo de técnicas especiales.

Las obras para la generación están constituidas de un túnel de presión que nace en el compensador "A" y va hacia una central subterránea. El túnel de presión, atravesaría las areniscas de la formación Hollín y las rocas efusivas de la formación Misahualli, en un 15% y 85% respectivamente.

En las areniscas se puede encontrar presencia de agua, debido a la permeabilidad de las mismas. La presencia de lutitas puede dificultar

ANEXO II - GEOLOGIA, SISMOLOGIA Y MECANICA DE SUELOS

tar la excavación dependiendo de su situación estructural.

En la formación Misahualli se puede eventualmente encontrar agua por infiltración a través de los planos de fracturación, los mismos que pueden presentar ocasionalmente tramos de inestabilidad. La central iría localizada totalmente en las rocas de la formación Misahualli, las mismas que tendrían iguales características que las descritas en el tramo del túnel de presión que atraviesa estas rocas.

La orientación y localización definitiva de la casa de máquinas será problema de estudios en una etapa posterior.

En esta etapa de los estudios, las estimaciones de los valores del módulo de elasticidad estático fueron realizados en base a consultas bibliográficas de obras en condiciones similares. Los valores adoptados para el módulo de elasticidad son de 100.00 kg/cm^2 para las areniscas y de 550.000 kg/cm^2 para las porfiritas. El coeficiente de Poison para las distintas litologías fue considerado de 0,17.

5. MATERIALES NATURALES PARA HORMIGON

Las condiciones geológicas a lo largo del curso medio del Río Coca,

ANEXO II - GEOLOGIA, SISMOLOGIA Y MECANICA DE SUELOS

en donde están ubicados los aprovechamientos seleccionados, son muy favorables a la obtención de áridos naturales o artificiales para el hormigón necesario a las estructuras de la presa y obras anexas.

Estas condiciones, ya analizadas anteriormente, revelan la existencia de millones de metros cúbicos de gravas y arenas, especialmente en las cercanías de los sitios de Salado y Malo y depósitos cubiertos en los sitios de Borja, El Chaco y Balsas.

El programa de muestreo y ensayo de estos materiales, fue realizado concomitantemente con la investigación de los suelos, pero a un grado de detalle menor. Sin embargo son suficientes para, preliminarmente, considerarlos adecuados a la preparación de hormigón de buena calidad.

Fueron enviados al laboratorio para ensayos, un total de 86 muestras, así distribuidas: Malo - 14; Salado - 31; Balsas - 17; El Chaco - 14 y Borja - 10.

El programa de ensayos constó de:

- a) ensayos generales de caracterización
 - granulometría
 - abrasión Los Angeles

ANEXO II - GEOLOGIA, SISMOLOGIA Y MECANICA DE SUELOS

- sanidad a los sulfatos
- peso específico y absorción
- descripción petrográfica

b) ensayos especiales sobre algunas muestras

- índice de forma
- resistencia al aplastamiento
- contenido de materiales en polvo
- colorimetría de arenas

Los resultados de los ensayos son presentados a continuación:

BORJA			
<u>Muestra</u>	<u>Abrasión Los Angeles</u>	<u>Peso Específico</u>	<u>Absorción</u>
Cant. tarj. 0131 a 0136	27,38%	2,69	1,29%
CB-2 tarj. 0124	-	2,44	3,18%
CB-2 gravas y arenas	-	2,56	3,20%
CB-1 Salahonda	20,6%	2,62	2,14%
TB 4-H tarj. 0110	32,0%	2,59	2,56%
CB-2H tarj. 0125	20,98%	2,60	1,32%

ANEXO II - GEOLOGIA, SISMOLOGIA Y MECANICA DE SUELOS

EL CHACO

<u>Muestra</u>	<u>Abrasión Los Angeles</u>	<u>Sanidad a los Sulfatos</u>	<u>Peso Específico</u>	<u>Absorción</u>
CH-1 tarj. 451 a 458	15,96%	-	2,31	3,92%
CH-2 tarj. 459 a 464	25,92%	1 1/2" 28,3% 3/4" 28,0% 3/8" 36,7% # 4 36,9%	2,49	1,94%

BALSAS

<u>Muestra</u>	<u>Sanidad</u>
BS-101-A a BS-101-H	1 1/2" 6,33% 3/4" 12,47% 3/8" 11,00% # 4 14,00% Nº 50 12,89%

NOTA: Las muestras BS-102-A a BS-102-H y BS-103-A a BS-103-H, indicadas para el sitio Salado, también son válidas para el sitio Balsas ya que el área para obtención de gravas y arenas está localizada aguas abajo del sitio de presa Balsas.

CLASIFICACION PETROGRAFICA

	<u>Rocas Volcánicas</u>	<u>Rocas Intensivas</u>	<u>Rocas Metamórficas</u>
Fracción mayor que 200 mm	20%	30%	50%
Fracción entre 100-200 mm	20%	30%	50%
Fracción entre 50-100 mm	20%	20%	60%
Fracción menor que 50 mm	20%	30%	50%

ANEXO II - GEOLOGIA, SISMOLOGIA Y MECANICA DE SUELOS

SALADO

<u>Muestra</u>	<u>Abrasión Los Angeles</u>	<u>Sanidad a los Sulfatos</u>	<u>Peso Específico</u>	<u>Absorción</u>
Pz-III-S ₁	16,6%	3/4" 10,4% 3/8" 9,2% # 4 16,3%	2,68	0,87 - 0,45
B-III-S ₃ arena	-	-	2,66	1,56%
Aguas abajo tarj. 551-558	19,92%	1 1/2" 1,8% 3/4" 0,9% 3/8" 2,6% # 4 3,7%	2,72	1,01% 0,85%
BS-102-A a BS-102-H	23,20%	-	2,70	1,04% 2,75%
BS-103-A a BS-103-H	16,6%	-	2,77 2,68	0,87% 1,54%
CANT-S 2 A a S 2 E	14,76%	1 1/2" 9,26% 3/4" 10,00% 3/8" 13,70% # 4 16,67%	2,62	0,88%

Las muestras de gravas están constituidas por un 20% de rocas volcánicas, un 30% de intrusivas y 50% de metamórficas.

MALO

<u>Muestra</u>	<u>Abrasión Los Angeles</u>	<u>Sanidad a los Sulfatos</u>	<u>Peso Específico</u>	<u>Absorción</u>
CM-1	37,08% (triturado)	-	2,74	2,20% 1,40%
CM-2	43,06% (triturado)	-	2,64	2,99%
CM-3	45,22% (triturado)	-	2,70	1,87%

ANEXO II - GEOLOGIA, SISMOLOGIA Y MECANICA DE SUELOS

MALO (Continuación)

<u>Muestras</u>	<u>Abrasión Los Angeles</u>	<u>Sanidad a los Sulfatos</u>	<u>Peso Específico</u>	<u>Absorción</u>
PM-2	33,66% (triturado)	-	2,56 2,64	2,29% 3,16%
PM-3	33,66% (triturado)	-	2,75	2,08%
Aluvial 0128 a 0139	26,72%	1 1/2" 7,0% 3/4" 5,3% 3/8" 8,5/ # 4 5,7%	2,64	1,63%
TM-2-H	38,6%	-	2,49	2,88%
TM-3-H	37,5%	-	2,70	2,04%

Los tipos petrográficos son los mismos que en el sitio Salado.

En lo que respecta al índice de forma los materiales analizados presentan formas muy favorables a la elaboración del hormigón. Esto es evidenciado por la realización de 3 ensayos sobre muestras de Salado (confluencia), de la Estación de Bombeo y de Díaz de Pineda, según se observa en el Cuadro N° II.5.1

Los ensayos de resistencia al aplastamiento y contenido de materiales en polvo sobre cuatro muestras indicaron los siguientes resultados:

<u>Sitio/Muestra</u>	<u>% Aplastamiento</u>	<u>% Polvo</u>
BALSAS BS-101-A a BS-101-H	14,6	10,9
Cantera	14,6	0
SALADO 102-A a 102-H	12,4	5,8
103-A a 103-H	13,3	5,2

ANEXO II - GEOLOGIA, SISMOLOGIA Y MECANICA DE SUELOS

Los ensayos colorimétricos de las arenas fueron realizados para una evaluación preliminar de la contaminación orgánica en los materiales para hormigón. En las cuatro muestras anteriormente nombradas el resultado fue negativo.

Los resultados obtenidos de las observaciones de campo y de los ensayos de laboratorio, indican que los materiales investigados son adecuados para la confección de hormigones.

En cuanto a la granulometría, los ensayos revelaron una excelente graduación y podrán ser económicamente lavados y tamizados para atender a cualquier especificación granulométrica.

Atención especial deberá ser dada a los estudios de la sanidad de las rocas y gravas tanto en lo que se refiere a la abrasión los Angeles (los peores resultados corresponden al sitio Malo) como en la durabilidad en medios agresivos (sanidad a los sulfatos), en las etapas futuras de estudio.

Las características mineralógicas y petrográficas de los áridos es otro factor de gran importancia en las investigaciones futuras.

Son consideradas perjudiciales a la obtención de buenos hormigones, las siguientes condiciones:

ANEXO II - GEOLOGIA, SISMOLOGIA Y MECANICA DE SUELOS

- a) gran incidencia de fragmentos alterados, friables y porosos;
- b) mezcla de fragmentos sedimentarios (areniscas, lutitas, etc.) en el conjunto;
- c) presencia de fragmentos potencialmente reactivos con los álcalis del cemento, como son las calcedonias, algunos vidrios volcánicos, brechas silicificadas, algunos basaltos, etc.

En las fases posteriores de los estudios, nuevos ensayos deberán ser ejecutados para el sitio de Salado, con el objeto de definir los parámetros de los materiales a ser empleados en la elaboración del hormigón.

6. GEOLOGIA DEL AREA DEL MACHACUYACU

El área del Río Machacuyacu y de sus afluentes Negro e Isango, está ubicada al este del sitio de presa Malo, en el Río Coca.

Los estudios geológicos en este sector fueron realizados en base a fotografías aéreas a escala 1:33.000 (aproximadamente). La foto-geología del área es facilitada por la distribución horizontal de las rocas sedimentarias, las mismas que forman pendientes características en los valles fluviales. Además, los trabajos geológicos realizados en el sector comprendido entre la Cascada de San Rafael

ANEXO II - GEOLOGIA, SISMOLOGIA Y MECANICA DE SUELOS

y el Codo Sinclair propiciaron correlaciones para el mapeo del Machacuyacu.

Fundamentalmente el área estudiada está ocupada por tres formaciones geológicas: formación Misahualli, formación Hollín y formación Napo.

La Lámina Nº HS/IA-GM-112 indica la distribución de estas formaciones geológicas.

La formación Misahualli es la más antigua y ocupa las partes bajas de los valles de los Ríos Machacuyacu, Negro y el curso final del Isango. Está constituida por porfiritas, ignimbritas y tobas porfiríticas.

Esta formación presenta condiciones geológicas adecuadas para el apoyo de presas, para túneles y como material de construcción (material para escollero y áridos para hormigón).

Las características geológico-geotécnicas de estas rocas, así como las de las formaciones Hollín y Napo, fueron discutidas anteriormente razón por la cual serán omitidas en este capítulo.

La formación Hollín, constituida por areniscas cuarzosas aflora formando pendientes casi verticales, fácilmente identificables en

NOJA	DE	RECOMENDADO
ESCALA		ARMANDO

CUADRO II-5-1

ANEXO II - GEOLOGIA, SISMOLOGIA Y MECANICA DE SUELOS

el terreno. Son rocas adecuadas para el apoyo de presas. En lo que respecta a la abertura de túneles en esta formación, cumple mencionar la presencia de capas de lutitas intercaladas; las areniscas son semimpermeables razón por la cual podrán existir problemas de infiltración de agua.

Los bloques resultantes de eventuales excavaciones podrían ser empleados en la construcción de la presa.

Las últimas rocas que interesan al sector del Machacuyacu son las lutitas y calizas de la formación Napo. Las lutitas son rocas poco competentes, problemáticas a la abertura de túneles e inestables en las paredes de excavaciones.

Las calizas presentan problemas de disolución e infiltración, por lo que deberán ser evitadas en los trazados de túneles.

Finalmente cumple destacar que los contactos geológicos son aproximados en el mapa presentado, pudiendo existir impresiones por la escala empleada y no existir chequeo de campo. Sin embargo es válido para dar una idea del panorama geológico del sector del Machacuyacu.

7. CONSIDERACIONES FINALES Y RECOMENDACIONES

Los sitios de presa estudiados presentan condiciones geológico-geotécnicas adecuadas para la implantación de las alternativas de presas seleccionadas. Sin embargo, por lo distinto del panorama geológico de cada sitio, algunos resultan geológicamente más ventajosos.

La geología del sitio Balsas es la de menor complejidad, seguida por la de Salado.

Las presas de Borja y El Chaco presentan distintas litologías y estructuras cuyo perfecto conocimiento exigiría la ejecución de perforaciones geológicas.

El sitio Malo es peculiar por la existencia de importantes depósitos aluviales que constituirían la cimentación de la presa. Debido a que no es factible realizar la remoción de estos depósitos es necesario conocer en detalle las características del material para prever cual es el tratamiento geotécnicos más adecuado, técnica y económicamente.

Los embalses estudiados no deberán presentar problemas importantes de estabilidad de las pendientes naturales y de fugas de agua hacia otras cuencas.

ANEXO II - GEOLOGIA, SISMOLOGIA Y MECANICA DE SUELOS

Sin embargo, el embalse de Salado, por el carácter prioritario de esta obra, deberá ser investigado en mayor detalle en la continuación de los estudios.

El área entre la presa de Malo y el Codo Sinclair deberá ser mejor estudiada. Por tanto, es necesario una base topográfica adecuada y la ejecución de perforaciones a lo largo del túnel.

Las mismas observaciones son válidas para el área del compensador A.

El Apéndice IV de este informe presenta el programa de sondeos para el sitio de Salado.

En el aspecto sismológico y estructural se recomienda la ejecución de un estudio de microsismicidad para la detección de las eventuales fallas activas en el área y que podrían afectar la seguridad de las obras.

En lo que respecta a materiales de construcción, las investigaciones de campo y los ensayos de laboratorio ejecutados para los estudios de prefactibilidad fueron suficientes para demostrar que existen en el área del Proyecto materiales naturales que pueden ser utilizados económicamente para la construcción de los macizos de las presas y para la fabricación de hormigón. Estas investiga-

ANEXO II - GEOLOGIA, SISMOLOGIA Y MECANICA DE SUELOS

ciones y ensayos permitieron estudios de alternativas de tipos de sección transversal de macizos y la selección de tipo y zonamiento factibles técnica y económicamente.

Los resultados numéricos de los ensayos revelaron que los materiales arcillosos disponibles para la construcción de los núcleos de las presas presentan características distintas de la mayoría de los suelos residuales de las regiones tropicales húmedas. El origen volcánico de la roca madre de algunos de estos suelos les confiere también características propias comunes a los de otros suelos de regiones volcánicas y húmedas como Hawai, Java, Kenia y Puerto Rico, ya analizadas en varios informes técnicos de la literatura internacional de la Mecánica de Suelos, como por ejemplo los informes de Wesle (1974), Newil (1961), Terzaghi (1958) y Jiménez-Quirón y Deere (1967).

Las características que más influyen en la factibilidad técnica-económica para la utilización de esos materiales son humedades naturales y óptimas. En todos los casos las humedades naturales son más altas que las óptimas para la compactación con equipos y métodos convencionales. El secado económico sería muy difícil debido al clima húmedo de la región. Todavía, los informes de los autores citados anteriormente demuestran que fue posible construir presas con materiales y en clima semejantes compactándolos satisfactoriamente en humedades naturales. Además los suecos desarrollaron la

ANEXO II - GEOLOGIA, SISMOLOGIA Y MECANICA DE SUELOS

técnica conocida como "wet fill method" para utilizar esos materiales muy húmedos en climas también húmedos, según informan Nilson y Lofquist (1955).

Los estudios y análisis del diseño final deben, evidentemente, considerar las características de resistencia estática y dinámica, compresibilidad y permeabilidad resultantes de condiciones prácticas necesarias para la utilización de esos materiales.

Los depósitos de materiales granulares (arenas y gravas) y las canteras existentes en la proximidad de las obras garantizan la factibilidad técnica-económica de la construcción de las zonas de transición (filtros y drenes) y los espaldones. Algunos de esos materiales pueden ser utilizados directamente sin tratamientos especiales. Otros deberán ser procesados para obtener granulometrías adecuadas a las funciones de filtros y drenes. Estos procedimientos, tales como lavado, separación por tamizado y trituración son operaciones usuales y comunes en obras de presas y son ejecutados por equipos convencionales de construcción pesada.

En lo que se refiere a materiales para la construcción de los macizos en estudio para la etapa de factibilidad de esas presas, recomiéndase las siguientes investigaciones adicionales:

ANEXO II - GEOLOGIA, SISMOLOGIA Y MECANICA DE SUELOS

El Chaco: Investigar las características de la roca alterada que se encuentra abajo de la arcilla del Area II. Este material probablemente es menos sensible al clima húmedo de la región.

Balsas: Investigar mejor la franja de gravas cercana al río de las Areas IV y V donde la cantidad de finos es probablemente pequeña.

Salado y Malo: Investigar las características de la lutita alterada abajo de la arcilla residual (de alteración de lutita); investigar las características de los suelos de flujo de lodo (lahar) próximos al sitio Malo; investigar los depósitos de gravas y arenas de los Ríos Salado y Coca.

BIBLIOGRAFIA

Wesley, Laurence D. (1974) - "Tjipanundajang Dam in West Java, Indonesia", Journal of the Geotechnical Engineering Division, Mayo, ASCE, New York.

Newill, Donald (1961) - "A Laboratory Investigation of Two Red Clays from Kenya", Geotechnique, Diciembre, Londres.

Terzaghi, K (1958) - "Design and Performance of the Sasumua Dam", Proceedings of the Inst. Civil Engineers, 9:369-393, Londres.

Jiménez, Quiñónez, Pedro y Don U. Deere (1967) - "Las Propiedades Físicas y la Compactación de los Suelos Residuales en el Trópico", Memorias, III Congreso Panamericano de Mecánica de Suelos e Ingeniería de Cimentaciones, Caracas, Venezuela.

Nelson, T. y B. Lofquist (1955) - "An Earth and Rockfill Dam on Stratified Soil. The Wet Fill Method", V Congreso des Grands Barragens Q.16, R 32, París.

ANEXO II - GEOLOGIA, SISMOLOGIA Y MECANICA DE SUELOS

APENDICE I

RESULTADO DE LAS INVESTIGACIONES GEOFISICAS

ANEXO II - GEOLOGIA, SISMOLOGIA Y MECANICA DE SUELOS

RESULTADOS DE LAS INVESTIGACIONES GEOFISICAS

1. INTRODUCCION

Este informe contiene los resultados de las investigaciones geofísicas realizadas en ocho locales de presa, para los estudios de Prefactibilidad y diseño preliminar de los aprovechamientos integrantes del esquema de desarrollo hidroeléctrico del curso principal del Río Quijos-Coca. Este trabajo fue realizado para el Instituto Ecuatoriano de Electrificación, INECEL, bajo un Convenio con el CONSORCIO HIDROSERVICE/INTEGRAL-IDCO-ADEC-INGECONSULT.

Los ocho sitios explorados son: Borja, El Chaco, Balsas I, Balsas II, Salado, Malo y dos sitios entre Salado y Malo en el Río Coca, según lo indicado en el mapa de localización Lámina N° HS/IA-442-GM-062.

Personal técnico y equipos de geofísica de la Compañía Shannon & Wilson, quien realizó los trabajos, fueron movilizados desde Seattle, Washington hasta Quito en Febrero 12 de 1977 en donde recibieron equipos adicionales de geofísica de la Compañía ADEC. Después de algunos días de preparación en Quito, el personal siguió a El Chaco y se unió al personal local para comenzar las operaciones de campo el 18 de Febrero en el sitio de El Chaco.

ANEXO II - GEOLOGIA, SISMOLOGIA Y MECANICA DE SUELOS

El trabajo de campo fue conducido de una manera continua hasta Mayo 28 habiéndose realizado trabajos adicionales a los contemplados en el Convenio previa la autorización de INECCEL.

Las exploraciones de campo incluyeron investigaciones por los métodos de sísmica de refracción y electroresistividad.

La interpretación preliminar de los datos fue realizada en el campo, concomitantemente con el avance de los trabajos, para su posterior envío a Quito en donde la interpretación final fue realizada por análisis computacional suplementada por interpretación manual.

Se ejecutó un total de 24,6 km de perfiles sísmicos de refracción y 42 sondeos de electroresistividad verticales (VES).

Los resultados son indicados en la forma de perfiles de velocidades sísmicas a los cuales las interpretaciones de las VES fueron añadidas.

Los resultados presentados en este informe, representan la interpretación más precisa y lógica que se puede obtener de las medidas geofísicas. Ambas técnicas de análisis numérica, manual y por computadora, han sido empleadas. La base para la clasificación sugerida, que fue empleada para establecer el significado geológico para

ANEXO II - GEOLOGIA, SISMOLOGIA Y MECANICA DE SUELOS

los perfiles sísmicos, debe ser considerada como interpretativa e indirecta ya que, en esa etapa de los estudios, no se dispone de información de perforación para la correlación y confirmación de estas interpretaciones.

La clasificación sugerida es, por consiguiente, basada en el conocimiento geológico de los sitios a través de la interpretación fotogeológica y mapeo de superficie, realizado por geólogos del CONSORCIO e INECEL, juntamente con la experiencia obtenida en estudios anteriores en áreas geológicamente similares. Por la ausencia de correlación con perforaciones, las interpretaciones presentadas podrán ser refinadas o revisadas después que informaciones directas estén disponibles con la continuación futura de las investigaciones que serán realizadas en estos sitios.

2. GEOLOGIA GENERAL

El área del Proyecto investigada está localizada en el valle del Río Quijos-Coca, entre la ciudad de Baeza y la Cascada de San Rafael. El valle es de 2 a 5 km de ancho y contiene grandes depósitos de aluviones recientes y antiguos, algunas veces en forma de depósitos terrazados. Localmente, flujos de lava intercañón están presentes. El drenaje principal está en dirección norte-sur y

ANEXO II - GEOLOGIA, SISMOLOGIA Y MECANICA DE SUELOS

este-oeste y está controlado, estructuralmente, por fallamiento y diaclasamiento primario.

Las rocas más antiguas, expuestas en el área estudiada, son las volcánicas del Jurásico superior del miembro Misahualli de la formación Chapiza.

Estas rocas cubren la mayor parte del área de fundación de los sitios investigados e incluyen tobas, aglomerados, brechas y lavas andesíticas. Las rocas volcánicas son cubiertas por rocas sedimentarias del Cretácico de las formaciones Hollín, Napo y Tena. Localmente, todas estas rocas han sido semimetamorfizadas por los efectos tectónicos de las fallas de cabalgamiento del período Terciario.

En el sitio Salado y, posiblemente, en el sitio Malo, estas rocas han sido intruidas por dioritas.

Las rocas cuaternarias que están presentes en el área del Proyecto incluyen flujos de andesita, brecha, aglomerado, toba y flujos de lodo que están recubiertos por suelos residuales, aluviones, coluviones y ceniza volcánica. Hay varios deslizamientos en las fuertes pendientes del valle, particularmente en áreas de rocas menos competentes.

ANEXO II - GEOLOGIA, SISMOLOGIA Y MECANICA DE SUELOS

3. INTERPRETACION Y RESULTADOS

3.1 SITIO DE PRESA DE BORJA

El sitio propuesto para la Presa de Borja está localizado en el km 105+600 en el Río Quijos aguas abajo de su confluencia con el Río Cosanga y aguas arriba del pueblo de Borja según lo indicado en la Lámina N° HS/IA-442-GM-062. Un total de 2 442 km de perfiles sísmicos y 6 sondeos verticales de electroresistividad (VES) fueron ejecutados en este sitio. Los resultados son presentados en las Láminas Nos. HS/IA-442-GM-048 y 049.

El límite más profundo de refracción varía en velocidad desde 2.232 a 3.520 m/s y es interpretado como representando la roca sana que es marcada por cambios laterales bruscos. Estas velocidades pueden ser divididas en 3 grupos distintos y, eléctricamente, la roca puede ser dividida en dos grupos distintos, como sigue:

Grupo	Rango de Velocidad m/s	Resistividad ohm - m	Clasificación Sugerida
A	3000 - 3520	290 - 400	Andesita
B	2436 - 2580	30 - 210	Brecha volcánica
C	2232 - 2300	50 - 210	Aglomerado volcánico

La interpretación geológica de estos datos es que el Grupo A (andesita) representa el remanente de un flujo de lava intercañón extruí-

ANEXO II - GEOLOGIA, SISMOLOGIA Y MECANICA DE SUELOS

do en un valle erosional en rocas volcánicas constituidas de aglomerados y brechas. El Grupo A está probablemente por encima del Grupo C, aglomerados volcánicos, los cuales presentan velocidades más bajas y no pueden ser detectados por el método de sísmica de refracción. La base del flujo de lava aparenta estar cerca de la cota de 1.650 m según lo indicado por el VES R-5 en la línea 4.

El límite del Grupo B y C, rocas volcánicas, aparece como un cambio lateral de velocidad cerca del borde izquierdo del río lo cual podría representar un contacto fallado o variación lateral en esta unidad geológica.

Las características eléctricas de las rocas del Grupo B y C disminuyen con la profundidad indicando una transición para materiales más finamente granulares o a una diferente unidad geológica que no pudo detectarse por el método de sísmica de refracción.

Los materiales de cobertura varían en velocidad desde 350 a 1.425 m/s y pueden ser divididos en 3 grupos:

Rango de Velocidad m/s	Resistividad ohm - m	Clasificación sugerida
350	70 - 3600	Suelo superficial, escombros de talud, aluviones recientes, zona sísmica aireada.
900 - 1000	230 - 760	Suelo residual con inclusiones rocosas o depósitos aluviales más antiguos
1425	130 - 210	Coluviones y rocas meteorizadas

ANEXO II - GEOLOGIA, SISMOLOGIA Y MECANICA DE SUELOS

Durante el transcurso de las investigaciones de campo ondas superficiales de gran amplitud y baja frecuencia fueron detectadas a raíz de las detonaciones en el terrazo superior en el material de 900 a 1.000 m/s. Esto puede indicar un material finamente granular y posiblemente saturado de agua que puede ser compresible. Material limoso fue expuesto en los huecos de detonación.

Aparentemente existe una buena concordancia entre los resultados sísmicos y eléctricos en este sitio.

3.2 SITIO DE PRESA DE EL CHACO

El sitio propuesto para la presa de El Chaco está localizado en el km 93+300 en el Río Quijos aproximadamente 1 km aguas arriba del pueblo de El Chaco según lo indicado en la Lámina N° HS/IA-442-GM-062.

Se ejecutó un total de 6.710 m de perfiles sísmicos y 7 VES. Los resultados de este trabajo son indicados en las Láminas Nos. HS/IA-442-GM-050, 051 y 052.

El límite de refracción más profundo que fue detectado varía en velocidad desde 2.100 a 4.300 m/s y es interpretado como representando la superficie de la roca sana. La gran variación en la velocidad de la roca implica que grandes cambios en la litología o condiciones del sustrato rocoso existe en este sitio. La distribución de velocidades y variaciones eléctricas es muy compleja y no puede ser inter-

ANEXO II - GEOLOGIA, SISMOLOGIA Y MECANICA DE SUELOS

pretada precisamente sin la ayuda de perforaciones.

Una variedad de distintas unidades rocosas ha sido mapeada en el sitio y áreas adyacentes. Estas incluyen flujo de lava, aglomerado volcánico y rocas sedimentarias. La velocidad medida en las rocas abajo de los perfiles sísmicos está directamente relacionada a sus competencias. En general, las velocidades indican que las rocas a la derecha del valle son más competentes que aquellas del lado izquierdo.

La interpretación geológica más sencilla sería que las altas velocidades del lado derecho del valle representan un flujo de andesitas densas las cuales son observadas en las elevaciones más bajas del cañón del Río Quijos. Esto puede ser un gran flujo intercañón que deslocó el río hacia la izquierda de su antiguo canal para una posición cerca del borde izquierdo del flujo donde el río ha reexcavado en rocas más antiguas y más suaves.

Una interpretación alternativa sería que esas rocas estén en contacto fallado. Esta posibilidad está reforzada por la presencia de una pendiente larga y plana de la superficie rocosa en ambos lados del río la cual está aparentemente deslineada a través del actual canal del río. Esta característica es evidente en los perfiles 1, 2 y 3. Medidas de las VES en el lado derecho del valle no detectaron otro tipo de roca por debajo del sustrato rocoso de alta velocidad aunque

ANEXO II - GEOLOGIA, SISMOLOGIA Y MECANICA DE SUELOS

la profundidad de penetración eléctrica pudo no haber sido suficiente.

No hay dudas que otras interpretaciones geológicas más complejas de los datos geofísicos puedan existir pero serán necesarias perforaciones para confirmar cualquier interpretación geológica completa.

A lo largo de las líneas 2 y 8 fueron encontradas zonas estrechas de rocas con 1.700 m/s. Esto representa, probablemente, zonas altamente fracturadas o rocas cizalladas.

Los materiales de cobertura varían en velocidades de 250 a 1800 m/s y pueden ser divididos en 3 grupos generales, a saber:

Rango de Velocidad m/s	Resistividad ohm - m	Clasificación sugerida
270 - 750	466 - 480	Suelo residual y coluviones; zona sísmica aireada
875 - 1430	12 - 290	Aglomerado y roca moderada- mente a altamente alterada
1500 - 1800	32 - 168	Aglomerado y roca moderada- mente alterada

La velocidad de la primera capa (270 a 750 m/s) se encontró ser más variable en este sitio que en los demás.

El material de cobertura aparenta ser más o menos horizontalmente

ANEXO II - GEOLOGIA, SISMOLOGIA Y MECANICA DE SUELOS

estratificado con alternación de capas de velocidad variables. Esta variación es evidente en las líneas 2, 3 y 6 que fueron ejecutadas a lo largo de una parte de las paredes del valle donde las velocidades pudieron ser medidas en una dirección más vertical que la normal horizontal de las medidas de refracción.

Esto fue muy útil ya que proporcionó velocidades verticales más cerca de la verdadera que pudieron ser usadas para calcular la profundidad de la roca por debajo de esta sección estratigráfica heterogénea. Las velocidades medidas por refracción de material de cobertura fueron relativamente elevadas (en este caso variando de 1900 a 2300 m/s) y si hubieran sido usadas en la computación de las profundidades, la profundidad calculada de la roca subyacente sería demasiado grande. Una velocidad promedio para el material de cobertura de 1717 m/s fue adoptada la cual debería propiciar medidas más precisas.

La línea sísmica N° 5 fue ejecutada a través de un gran deslizamiento en la margen izquierda del río con el propósito de determinar su dimensión vertical. Los resultados sísmicos indican que la masa deslizada tiene menos de 10 m de espesor.

La concordancia entre los resultados sísmicos y eléctricos en este sitio fue razonablemente buena.

ANEXO II - GEOLOGIA, SISMOLOGIA Y MECANICA DE SUELOS

3.3 SITIO DE PRESA BALSAS I

El sitio de presa Balsas I está localizado en el km 80+800 del Río Quijos cerca de 1.5 km aguas abajo del pueblo de Díaz de Pineda según lo indicado en la Lámina N° HS/IA-442-GM-062. Se ejecutó un total de 2.365 km de perfiles sísmicos y 5 VES cuyos resultados están indicados en las Láminas Nos. HS/IA-442-GM-056 y 057.

El límite de refracción más profundo detectado varía, en velocidad, de 2200 hasta 4800 m/s y es interpretado como representando la superficie del sustrato rocoso sano. Hay muchas variaciones laterales bruscas de velocidad que indican cambios en la litología o en la calidad de la roca. Las propiedades eléctricas de la roca también aparentan ser bastante variables.

En base a las velocidades, los sustratos rocosos pueden ser separados en dos tipos. A lo largo del lado izquierdo, y más o menos en la parte central del eje, las velocidades de la roca varían de 2200 a 3100 m/s. En el lado derecho en las líneas BA-1, 2 y 3 así como en el extremo de aguas abajo de la BA-4, las velocidades de la roca varían de 3555 hasta 4800 m/s.

Los materiales de cobertura varían considerablemente en velocidad de línea a línea. Para calcular las profundidades de la roca de manera consistente fue necesario utilizar una velocidad promedio de

ANEXO II - GEOLOGIA, SISMOLOGIA Y MECANICA DE SUELOS

1550 m/s. El material de cobertura puede ser dividido en dos categorías basado en sus propiedades geofísicas:

Rango de velocidad m/s	Resistividad ohm - m	Clasificación sugerida
360 - 760	740 - 890	Suelo artificial y escombros de talud; zona sísmica aireada
1336 - 1960	110 - 455	Suelo residual, coluvión; roca altamente meteorizada y aluvión

El sustrato rocoso puede ser clasificado de acuerdo a sus propiedades geofísicas como sigue:

Rango de velocidad	Resistividad	Clasificación sugerida
2200 - 3100	155 - 5000+	Rocas volcánicas, jurásicas, no diferenciadas
3555 - 4800	188 - 945	Rocas volcánicas, jurásicas, no diferenciadas: rocas densas

3.4 SITIO DE PRESA BALSAS II

El sitio de presa de Balsas II está localizado en el km 79+800 en el Río Quijos, 1 km aguas abajo del sitio de Balsas I según lo indicado en la Lámina N° HS/IA-442-GM-062. Se ejecutó un total de 1239 km de perfiles sísmicos. No fueron realizados sondeos eléctricos. Los resultados son presentados en la Lámina N° HS/IA-442-GM-055.

ANEXO II - GEOLOGIA, SISMOLOGIA Y MECANICA DE SUELOS

El límite de refracción más profundo detectado en este sitio varía, en velocidad, de 1750 hasta 2850 m/s y es interpretado representando la superficie de roca sana. Hay variaciones laterales de velocidad que indican, potencialmente, grandes cambios en la litología o en la calidad de la roca. La distribución de las velocidades sísmicas en la roca aparenta ser menos compleja que en el sitio de Balsas I y puede ser dividida en dos categorías como sigue:

Rango de velocidad m/s	Clasificación sugerida
2350 - 2850	Rocas volcánicas, jurásicas, no diferenciadas
1750 - 2000	Rocas volcánicas altamente fracturadas, cizallada o meteorizada

Las velocidades de los materiales de cobertura pueden ser divididas en dos grupos distintos:

Rango de velocidad m/s	Clasificación sugerida
300 - 900	Suelo superficial y escombros de talud; zona sísmica aireada
1650 - 1675	Suelo residual, coluvión, roca altamente meteorizada o depósitos aluviales terrazados.

Las velocidades de la primera capa (300-900 m/s) son bastante variables en este sitio.

ANEXO II - GEOLOGIA, SISMOLOGIA Y MECANICA DE SUELOS

3.5 SITIO DE PRESA SALADO

El sitio de presa Salado está localizado en el km 63+120 en el Río Coca aproximadamente 0,5 km aguas abajo de su confluencia con el Río Salado y Quijos según lo indicado en la Lámina N° HS/IA-442-GM-062. Se ejecutó un total de 4.320 km de perfiles sísmicos y 12 VES cuyos resultados son presentados en la Lámina N° HS/IA-442-GM-058.

La investigación en el sitio Salado fue especial, comparada a los otros sitios debido a la presencia de la estación de bombeo del oleoducto que producía interferencia sísmica considerable por la operación de los equipos mecánicos. El extremo oeste de la línea sísmica 2 se extendía a través de la estación de bombeo y los extremos de las líneas 1 y 3 estaban muy cerca de la misma. Afortunadamente, las bombas fueron desconectadas por un período de 2 días debido a la falta de capacidad de almacenamiento en Esmeraldas, sin embargo la operación de los generadores de la estación por sí sola causó suficiente interferencia sísmica como para eliminar la posibilidad de obtener datos sísmicos útiles cerca de la planta. Por esta razón hay discontinuidades en los perfiles sísmicos. Medidas de electroresistividad fueron usadas para llenar las discontinuidades en los perfiles sísmicos a excepción de aquellas áreas donde los tubos subterráneos estaban presentes.

ANEXO II - GEOLOGIA, SISMOLOGIA Y MECANICA DE SUELOS

El límite de refracción más profundo varía de 3170 a 6100 m/s y es interpretado como representando la superficie de la roca sana.

Las velocidades sísmicas en roca inciden en dos grupos distintos:

Grupo	Rango de velocidad m/s	Clasificación sugerida
A	3170 - 3350	Rocas volcánicas jurásicas (Formación Misahualli)
B	4750 - 6100	Intrusivo diorítico

La interpretación de los sondeos eléctricos, en la roca, indican resistividades variables en las rocas volcánicas y, generalmente, altos valores de resistividad en el intrusivo diorítico. Una clasificación de resistividad de las rocas sería:

Grupo	Resistividad ohm - m	Clasificación sugerida
A	40 - 640	Rocas volcánicas jurásicas
B	900 - 19,000+	Intrusivo diorítico

Los valores de resistividad del material de cobertura son iguales o mayores que la resistividad de la roca del Grupo A. Por esta razón la superficie rocosa del Grupo A no puede ser precisamente identificada sólo por las resistividades.

La clasificación de las propiedades geofísicas del material de

ANEXO II - GEOLOGIA, SISMOLOGIA Y MECANICA DE SUELOS

cobertura en el sitio Salado es indicada a continuación:

Rango de Velocidad m/s	Resistividad ohm - m	Clasificación sugerida
300 - 575	63 - 6000	Suelo superficial, zona sísmica aireada
675 - 1800	33 - 1140	Aluvión, coluvión, escom- bros de talud
1600 - 2100	58 - 300	Diorita meteorizada

Para resumir, las resistividades del material de cobertura son generalmente elevadas, sugiriendo que un aluvión esencialmente granular está presente en este sitio. Sin embargo, las interpretaciones de la resistividad indican que materiales de baja resistividad pueden también estar presentes. Hasta que las perforaciones sean completadas no es posible realizar la clasificación de los datos de resistividad en los aluviones. Iguales valores de resistividad impiden la diferenciación entre aluvión, diorita meteorizada y rocas volcánicas jurásicas. Se cree que los valores elevados de resistividad en la base de algunas interpretaciones de las VES probablemente indiquen intrusivos dioríticos.

Las velocidades sísmicas permiten, aparentemente, diferenciar las rocas volcánicas de intrusivo diorítico. Las velocidades del aluvión y de la diorita meteorizada son por demás similares como para permitir una diferenciación de estos materiales por medidas sísmicas.

ANEXO II - GEOLOGIA, SISMOLOGIA Y MECANICA DE SUELOS

3.6 SITIOS DE PRESA ENTRE SALADO Y MALO

Estudios geofísicos limitados fueron ejecutados en dos sitios alternativos de presa entre Salado y Malo en el Río Coca. Ellos están localizados aproximadamente en los km 58+250 y 56+250 según lo indicado en la Lámina N° HS/IA-442-GM-062. Un perfil sísmico con 1,160 km de largo y 4 VES fueron ejecutados en el km 58+250 y un perfil sísmico de 700 m de largo y un sondeo eléctrico fue ejecutado en el sitio del km 56+250. En esta localización la línea de sísmica no fue conducida a través del río a la margen izquierda debido a posibles daños que causarían los explosivos en el oleoducto. Los resultados de este trabajo están indicados en la Lámina N° HS/IA-442-GM-054.

El límite de refracción más profundo detectado en estos sitios varía, en velocidad, desde 2850 hasta 3800 m/s y es interpretado como el tope de la roca sana. Las variaciones poco espaciadas y abruptas de velocidad que han aparecido en otros sitios no son evidentes. Se cree que tales aspectos también existen en estos sitios pero que no pudieron detectarse por el sismógrafo debido a la gran profundidad y relieve del límite de refracción en la roca. El mapeo geológico de superficie indica que la roca es una andesita porfirítica.

Los materiales de cobertura en estos sitios pueden ser divididos en cinco categorías basadas en sus propiedades geofísicas:

ANEXO II - GEOLOGIA, SISMOLOGIA Y MECANICA DE SUELOS

Rango de velocidad m/s	Resistividad ohm - m	Clasificación sugerida
450 - 700	415 - 1500	Arenas recientes, grava y aluvión con bloques, también suelos y escombros de talud
800	150	Aluviones recientes menos granulares
1000 - 1050	2 - 82	Depósitos finamente granulares recientes posiblemente lacustre
1200	-	Masas rocosas deslizadas
1400 - 1900	200 - 930	Aluviones antiguos de granulometría gruesa

La zona de 1200 m/s en la parte inferior del apoyo izquierdo de la línea 2 puede ser una gran masa intacta de roca que se deslizó de la pared adyacente del valle.

Hay buena concordancia entre los datos sísmicos y eléctricos. Medidas de electroresistividad son particularmente efectivas en la definición de la estratigrafía del relleno del valle en estos sitios.

3.7 SITIO DE PRESA MALO

El sitio propuesto para la presa de Malo está situado en el km 52+730 en el Río Coca según lo indicado en la Lámina N° HS-IA-442-GM-062.

Se ejecutó un total de 5,677 km de perfiles sísmicos y 8 VES cuyos resultados son indicados en la Lámina N° HS/IA-442-GM-059, 060 y 061.

ANEXO II - GEOLOGIA, SISMOLOGIA Y MECANICA DE SUELOS

El límite de sísmica de refracción más profundo varía en velocidad, desde 2050 hasta más de 7000 m/s que representaría el límite de la roca sana. El rango de variación de velocidad indica una gran variedad sea en la litología o en la calidad de la roca. Las variaciones en la velocidad de la roca no aparentan seguir ningún patrón especial más están distribuidos al azar a través del sitio.

Los valores de resistividad para la roca son generalmente elevados. La resistividad puede indicar roca sana o meteorizada. La clasificación del sustrato rocoso basado en las características geofísicas son dictadas como sigue:

Rango de velocidad m/s	Resistividad ohm - m	Clasificación sugerida
2050 - 7000+	102 - 5000	Rocas volcánicas jurásicas no diferenciadas, sanas; altas velocidades pueden representar un intrusivo diorítico

El material de cobertura puede ser clasificado, por lo menos, en tres grupos de velocidades. La resistividad del material de cobertura es bastante variable y no sigue necesariamente los grupos de velocidades. Los valores de la resistividad en material de cobertura son, probablemente, relacionados más al tamaño de la partícula que a la densidad así que las velocidades no serían necesariamente correlacionables. El material de cobertura es clasificado como sigue:

ANEXO II - GEOLOGIA, SISMOLOGIA Y MECANICA DE SUELOS

Rango de velocidad m/s	Resistividad ohm - m	Clasificación sugerida
300 - 465	108 - 930	Suelo artificial, escombros de talud; suelo superficial aireado
600 - 1200	8 - 3000	Coluvión, aluvión
1440 - 1970	10 - 906	Aluvión antiguo y roca meteorizada

Basada en los resultados de la geofísica, la geología es muy compleja y el relieve del sustrato rocoso bastante variable. Se recomienda la ejecución de por lo menos una perforación en el cauce del río para confirmar la profundidad de la roca en el profundo relleno del valle.

4. PERSONAL Y EQUIPO

Personal de la Compañía Shannon & Wilson involucrados en el seguimiento de los trabajos de campo; análisis de los datos y preparación del informe fueron los ingenieros Sigmund D. Schwarz, Vicepresidente; Boyd O. Bush, Geólogo Principal; John Musser Jr., Geólogo Senior; Clyde Ringstad, Geólogo Senior y Dexter McCulloch, Geólogo. Personal de apoyo incluyó al Ing. Celso López y José Ramírez de ADEC junto con obreros locales en número de 6 a 10 provistos por el CONSORCIO. Toda la coordinación de los trabajos de campo, suministro de mate-

ANEXO II - GEOLOGIA, SISMOLOGIA Y MECANICA DE SUELOS

riales, apoyo logístico y de infraestructura fue de responsabilidad del CONSORCIO. El procesamiento de los datos en computadora fue realizado a través de Malachi Foley y Leopoldo Yépez de Procesamiento de Información Cía. Ltda. en Quito en el Centro de Computación de la Escuela Politécnica Nacional.

Los instrumentos geofísicos empleados para las investigaciones de campo incluyeron un sismógrafo de 12 canales Modelo Nimbus ES-1200 y un equipo de electroresistividad Soil Test Modelo R-50. Un sismógrafo de 12 canales Electro-Tech Modelo ER-75 fue también usado por un período de 10 días mientras que el equipo Nimbus fue devuelto al fabricante para reparaciones. Accesorios para los equipos incluyeron cables de sísmica de la Compañía Vector Manufacturing con salidas para geófonos espaciadas de 10 y 25 m y geófonos de la Mark Products Modelo M-3 con frecuencia natural de 14 hz. La energía sísmica fue provista por pequeñas cargas explosivas iniciadas por detonadores eléctricos.

5. INVESTIGACIONES DE CAMPO

El alcance de trabajo realizado en cada sitio y las fechas en que fue realizado está indicado en el Cuadro N° 5.1.

La mayor parte de la exploración sísmica fue conducida con espacia-

CUADRO N° 5.1

ALCANCE DE LOS TRABAJOS Y DATOS DE EXPLORACION

<u>SITIO</u>	<u>PERFILES SISMICOS</u>	<u>SONDEOS ELECTRICOS</u>	<u>DIAS DE CAMPO</u>	<u>PERIODO</u>
Borja	2.442	6	10	Mar 15-24
El Chaco	6.710	7	22	Feb 17 - Mar 5 Mar 25-28 May 17
Balsas I	2.365	5	6	Abr 26 - May 1
Balsas II	1.239	0	4	May 2-5
Salado	4.320	12	6	May 16 May 18-22
Sitios entre Salado y Malo	1.869	4	6	May 23-28
Malo	5.677	8	15	Abri 11-25
TOTAL	24.622 km			

CUADRO Nº 5.1

ALCANCE DE LOS TRABAJOS Y DATOS DE EXPLORACION

<u>SITIO</u>	<u>PERFILES SISMICOS</u>	<u>SONDEOS ELECTRICOS</u>	<u>DIAS DE CAMPO</u>	<u>PERIODO</u>
Borja	2.442	6	10	Mar 15-24
El Chaco	6.710	7	22	Feb 17 - Mar 5 Mar 25-28 May 17
Balsas I	2.365	5	6	Abr 26 - May 1
Balsas II	1.239	0	4	May 2-5
Salado	4.320	12	6	May 16 May 18-22
Sitios entre Salado y Malo	1.869	4	6	May 23-28
Malo	5.677	8	15	Abri 11-25
TOTAL	24.622 km			

ANEXO II - GEOLOGIA, SISMOLOGIA Y MECANICA DE SUELOS

miento standard de los geófonos de 10 ó 25 m aunque otros espaciamientos fueron utilizados ocasionalmente. Las cargas explosivas variaron en peso desde 0,25 hasta 5 libras donde fueron enterradas en el suelo a profundidades de 0,5 a 2 metros. En lugares donde el suelo era poco profundo o rocoso, las cargas explosivas fueron detonadas de 0 a 2 m sobre la superficie del terreno para evitar el peligro del esparcimiento de la roca. Para los cruces del río las cargas explosivas fueron detonadas a pequeñas profundidades en el agua. Todas las líneas de sísmica fueron niveladas y estacadas por los topógrafos del CONSORCIO.

La localización de los geófonos y de los puntos de detonación fueron designados de manera a permitir la llegada reversa de refracción de cada límite de refracción siempre que fue posible. La mayor parte de las líneas sísmicas fue registrada con un mínimo de 5 detonaciones por cada disposición de 12 geófonos. Las detonaciones fueron localizadas en cada extremo y en el centro así como alejados en cada uno de los extremos de la línea de geófonos. En algunos casos en donde fue necesario un control adicional de la velocidad cerca de la superficie o los límites de refracción fueron muy profundos, puntos de detonación adicionales interiores y alejados de los extremos fueron establecidos. En algunos casos 9 puntos de detonación fueron realizados para cada disposición de los geófonos para proveer datos adecuados.

ANEXO II - GEOLOGIA, SISMOLOGIA Y MECANICA DE SUELOS

En donde las condiciones del río permitieron, las líneas de sísmica fueron ejecutadas a través del cauce. Esto fue realizado colocando los geófonos en cada lado del río y detonando las cargas explosivas a intervalos seleccionados en el área. Estas cargas fueron suspendidas y puestas en posición por un arreglo general de sogas y poleas.

Las medidas de electroresistividad fueron realizadas empleándose la disposición Wenner para los electrodos.

En general las investigaciones de campo se desarrollaron más lentamente de lo previsto como resultado de las fuertes precipitaciones durante el tiempo de investigación. Varios días de campo fueron completamente perdidos bajo las peores condiciones de lluvia. Algunos días fueron también perdidos cuando los ríos estuvieron crecidos e impidieron el cruce. El aumento del tiempo de campo debido al factor climático fue aproximadamente 12% con relación al tiempo original estimado para este trabajo.

6. PRECISION DE LOS RESULTADOS

La precisión de las interpretaciones geofísicas puede ser discutida en dos categorías generales:

ANEXO II - GEOLOGIA, SISMOLOGIA Y MECANICA DE SUELOS

A. Clasificación de velocidad - resistividad

B. Estimación profundidades

A. CLASIFICACION DE VELOCIDAD - RESISTIVIDAD

Para este Proyecto los valores de velocidad y resistividad han sido usados para tener una idea preliminar de la naturaleza del material de cobertura y de la roca. Las velocidades de material de cobertura han sido también usadas para computar el espesor de dicho material. Para obtener una clasificación precisa de los materiales en base a las investigaciones geofísicas, es necesario realizar perforaciones que permitan una correlación adecuada de los resultados geofísicos.

Por consiguiente y para los propósitos de este informe geofísico preliminar, se ha apoyado principalmente en experiencias anteriores y en comparaciones con los mapeos geológicos locales para establecer las clasificaciones de velocidad y resistividad sugeridas. Determinadas reglas generales pueden también ser usadas para clasificaciones futuras basadas en las propiedades geofísicas:

1. Las velocidades sísmicas en aluviones son, básicamente, determinadas por la cantidad de aireación, humedad natural, tamaño de la partícula y cementación. Velocidades altas en aluviones generalmente resultan de condiciones húmedas, partículas grandes o cementación elevada.

Velocidades sísmicas en roca usualmente representan el grado de rigidez de las unidades rocosas. Meteorización intensa, fracturamiento abierto, dislocamientos físicos, resultarán en velocidades bajas en la roca; mientras que juntas cerradas muy espaciadas y capas masivas serán normalmente representadas por altas velocidades de la roca.

2. Los valores de resistividad son basados en la resistencia de la tierra a un flujo de corriente eléctrica. En general, la resistividad eléctrica está relacionada al contenido de agua de los suelos y rocas. En suelos saturados el tamaño de la partícula tiene considerable influencia en los valores de la resistividad. Los materiales finamente granulares, por ejemplo, tiene baja resistividad.

La mayoría de los materiales rocosos tienen altos valores de resistividad (excepto para pizarras marinas las cuales pueden contener agua salada connata altamente conductiva).

B. ESTIMACION DE LA PROFUNDIDAD

Hay muchos factores que determinan la precisión de la previsión de profundidad en la interpretación sísmica y de resistividad. Sin embargo, hasta que la interpretación geofísica sea correlacionada con perforaciones, una discusión detallada sobre la precisión no

ANEXO II - GEOLOGIA, SISMOLOGIA Y MECANICA DE SUELOS

sería apropiada. Para los propósitos de estudios preliminares puede asumirse que las profundidades de los límites en los perfiles sísmicos presenten un error máximo de 5 a 10%. La misma precisión de profundidad puede ser admitida para las profundidades de la resistividad (VES).

7. METODOS DE INTERPRETACION

7.1 INTERPRETACION SISMICA

Las interpretaciones preliminares de campo abarcaron, normalmente el análisis de velocidades y computación de velocidades por debajo de los puntos de detonación. Procedimientos standards de computación manual fueron empleados para esta etapa de la interpretación.

Para los cálculos finales se empleó el análisis por computadora. Estos resultados eran constantemente chequeados, y en muchos casos, modificados por los métodos manuales standards. El programa sísmico de la computadora genera un modelo bidimensional de interpretación tierra-modelo. Una primera aproximación en cada límite de refracción es obtenida por una adaptación de la computadora para el método de "delay-time". Usando determinados procedimientos el modelo es ajustado de una manera imperativa hasta llegar a la mejor solución. Este programa es una adaptación realizada por la Shannon & Wilson de

ANEXO II - GEOLOGIA, SISMOLOGIA Y MECANICA DE SUELOS

un programa del U.S. Bureau of Mines.

7.2 INTERPRETACION DE RESISTIVIDAD

Todos los sondeos de electoresistividad fueron ejecutados con la disposición Wenner de electrodos. Los datos fueron sometidos a análisis de computadora y los resultados indicados en los perfiles de velocidad. El programa de computadora para resistividad es de la Shannon & Wilson basado en un análisis desarrollado por A. Zhody, del U.S. Geological Survey.

ANEXO II - GEOLOGIA, SISMOLOGIA Y MECANICA DE SUELOS

APENDICE II

RESULTADOS DE LOS ENSAYOS GEOTECNICOS DE LABORATORIO

PROYECTO HIDROELECTRICO COCA

LOCAL:

BORJA

AREA:

I

POZO Nº	MUESTRA Nº	PROF. m	HUMEDAD NATURAL %	LIMITES DE CONSISTENCIA			GRAVEDAD ESPECIFICA DE LOS GRANOS	GRANULOMETRIA %								COMPACTACION		OBSERVACIONES
				LL %	LP %	IP %		ARCILLA	LIMO	ARENA			GRAVAS			HUMEDAD OPTIMA %	DENSIDAD SECA MAXIMA g/cm ³	
										FINA	MEDIA	GRUESA						
								0,002	0,06	0,2	0,6	2	25	50 mm	75			
SB-13	0156	0,2-1,2	72,2	80,3	64,2	16,1												
"	0157	1,2-1,8	83,8	83,8	55,7	28,1												
"	0158	1,8-3,0	81,4	79,6	51,9	27,7												
"	0159	3,0-4,3	30,3	34,1	24,8	9,3												
SB-15	0160	0,2-1,5	104,5	102,3	77,2	25,1	2,656	24	47	10	7	2	10	-	-	46,0	1,088	
"	0161	1,5-3,2	130,2	106,0	78,6	27,4	2,652	33	45	11	6	1	4	-	-	52,7	1,044	k=1.3x10 ⁻⁵ cm/s
"	0162	3,2-4,0	87,5	60,0	47,6	12,4	2,552	20	53	12	7	1	7	-	-	38,4	1,194	
P-C	0154	0,3-1,9	63,5	66,1	52,6	13,5	2,629	16	39	13	10	5	12	3	2	34,1	1,285	k=2.4x10 ⁻⁵ cm/s
"	0155	1,9-3,2	79,6	79,1	60,6	18,5	2,648	15	45	21	16	2	1	-	-	51,5	1,056	
SB-27	0164	0,3-1,6	54,6	53,5	41,7	11,8		50		14	9	6	21	-	-			
SB-37	0165	0,2-5,4	88,2	97,4	71,7	25,8		66		12	9	2	11	-	-			
SB-74	0166	0,2-1,0	85,7	85,9	62,6	23,3		75		20	5	-	-	-	-			
SB-74	0168	1,0-2,3	94,6	78,0	65,8	12,2		76		13	9	2	-	-	-	51,4	1,089	
SB-74	0169	2,3-4,0	91,8	92,7	63,4	29,3		79		10	9	2	-	-	-			
SB-19	0167	0,0-0,9	79,6	94,7	76,5	18,2		81		11	7	1	-	-	-			
"	0170	0,9-3,8	89,7	91,9	64,4	27,5		93		5	2	-	-	-	-			
SB-65	0171	0,2-2,1	70,1	61,4	54,0	7,4		50		13	9	3	25	-	-			

CONSORCIO HIDROSERVICE / IA	RESULTADOS NUMERICOS DE LOS ENSAYOS DE CARACTERIZACION Y COMPACTACION	INECEL
--------------------------------	---	--------

ROYECTO HIDROELECTRICO COCA

LOCAL:

BORJA

AREA:

I

POZO Nº	MUESTRA Nº	PROF. m	HUMEDAD NATURAL %	LIMITES DE CONSISTENCIA			GRAVEDAD ESPECIFICA DE LOS GRANOS	GRANULOMETRIA %								COMPACTACION		OBSERVACIONES
				LL %	LP %	IP %		ARCILLA	LIMO	ARENA			GRAVAS	HUMEDAD OPTIMA %	DENSIDAD SECA MAXIMA g/cm³			
										FINA	MEDIA	GRUESA						
								0,002	0,06	0,2	0,6	2	25	50 mm	75			
SB-69	0172	0,2-1,8	75,8	77,2	63,0	14,1		61		14	6	4	15	-	-	39,2	1,219	
SB-69	0173	1,8-3,5	95,5	108,8	78,6	30,2		72		15	8	2	3	-	-			
SB-44	0174	0,0-1,6	76,7	79,9	70,6	9,2		86		13	1	-	-	-	-			
"	0175	1,6-2,1	80,7	73,4	55,2	18,2		63		11	23	3	-	-	-			
"	0176	2,4-4,3	152,5	154,7	101,4	53,3		71		17	11	1	-	-	-			
SB-21	0401	0,5-1,0	88,8	103,3	71,6	31,7		75		7	8	3	7	-	-			
"	0402	1,0-2,0	100,5	105,8	48,2	57,5		64		6	8	6	16	-	-			
"	0403	2,0-3,0	96,5	91,8	65,3	26,5		73		13	12	1	1	-	-			
"	0404	3,0-3,5	110,5	129,4	90,0	39,4		81		11	7	0,5	0,5	-	-			

APENDICE II

ROYECTO HIDROELECTRICO COCA

LOCAL:

CHACO

AREA:

I

POZO Nº	MUESTRA Nº	PROF. m	HUMEDAD NATURAL %	LIMITES DE CONSISTENCIA			GRAVEDAD ESPECIFICA DE LOS GRANOS	GRANULOMETRIA %								COMPACTACION		OBSERVACIONES
				LL %	LP %	IP %		ARCILLA	LIMO	ARENA			GRAVAS	HUMEDAD OPTIMA %	DENSIDAD SECA MAXIMA g/cm³			
										FINA	MEDIA	GRUESA						
																0,002	0,06	
SB-1	205	0,3-1,0	69,1	82,0	51,9	30,1												
SB-1	206	1,0-2,0	90,5	81,9	66,0	15,9												
SB-2	203	0,2-1,0	84,3	90,5	70,7	19,8												
SB-2	204	1,0-2,1	86,4	82,9	63,6	19,3												
SB-3	201	0,2-1,0	79,3	81,9	64,4	18,5												
SB-3	202	1,0-2,0	91,4	91,4	64,5	26,9												
SB-4	276	0,2-1,0	79,3	82,9	64,9	18,0												
SB-4	277	1,0-2,0	89,3	93,8	71,2	22,6												
SB-5	278	0,3-1,0	58,5	48,4	46,5	1,9												
SB-5	279	1,0-2,0	77,9	70,4	58,8	11,6												
SB-5	280	2,0-3,0	71,3	71,7	59,6	12,1												
SB-7	284	0,2-1,0	61,8	75,5	58,4	17,1												
SB-7	285	1,0-2,0	61,8	66,4	45,6	20,8												
SB-8	286	0,2-1,0	83,6	98,0	68,5	29,5												
SB-8	287	1,0-2,0	81,8	90,0	67,8	22,2												
SB-6	281	0,2-1,0	77,0	81,0	60,4	20,6	2,588	5	56	27	6	4	2	-	-	40,9	1,214	
SB-6	282	1,0-2,0	54,9	59,3	42,4	16,9	2,599	15	55	12	8	4	6	-	-	33,9	1,300	

CONSORCIO
HIDIOSERVICE / IA

RESULTADOS NUMERICOS DE LOS ENSAYOS DE CARACTERIZACION Y COMPACTACION

INECEL

PROYECTO HIDROELECTRICO COCA

LOCAL:
CHACOAREA:
I

POZO Nº	MUESTRA Nº	PROF. m	HUMEDAD NATURAL %	LÍMITES DE CONSISTENCIA			GRAVEDAD ESPECÍFICA DE LOS GRANOS	GRANULOMETRÍA %								COMPACTACIÓN		OBSERVACIONES
				LL %	LP %	IP %		ARCILLA	LIMO	ARENA			GRAVAS	HUMEDAD OPTIMA %	DENSIDAD SECA MÁXIMA g/cm³			
										FINA	MEDIA	GRUESA						
								0,002	0,06	0,2	0,6	2	25	50 mm	75			
SB-6	283	2,0-3,0	111,7	88,6	62,2	26,4	2,607	7	67	16	7	2	1	-	-	42,6	1,121	
SB-9	207	0,2-2,2	103,5	108,4	70,6	37,8												
SB-10	208	0,2-1,0	77,8	97,9	55,3	42,6												
SB-10	209	1,0-2,2	90,7	126,9	75,1	51,8												
SB-11	210	0,1-1,0	95,2	120,4	69,1	51,3												
SB-11	211	1,0-3,0	71,1	81,3	45,5	35,8												
SB-12	223	0,2-0,8	87,9	90,4	64,2	26,2												
SB-12	224	0,8-2,0	96,6	119,2	70,6	48,6												
SB-13	212	0,2-2,0	104,7	94,3	60,0	34,3	2,688*	78	14	6	1	1	-	-	41,6	1,191*	* k=3,7x10 ⁻⁶ cm/s	
SB-14	216	0,2-1,0	75,0	101,7	58,8	42,9												
SB-14	217	1,0-2,5	89,1	92,1	58,4	33,7												
SB-15	215	0,1-1,7	68,3	77,4	47,6	29,8												
SB-17	220	0,8-2,2	111,4	89,6	55,4	34,2												
SB-18	221	0,1-0,8	80,4	104,1	56,3	47,8												
SB-18	222	0,8-2,2	87,0	84,9	54,4	30,5												
SB-19	219	0,2-1,9	71,4	93,7	65,2	28,5	2,688*	75	9	7	2	7	-	-	41,6	1,191*	* k=3,7x10 ⁻⁶ cm/s	
SB-20	218	0,1-2,5	84,3	112,4	70,3	42,1												

PROYECTO HIDROELECTRICO COCA

LOCAL:

CHACO

AREA:

I

POZO Nº	MUESTRA Nº	PROF. m	HUMEDAD NATURAL %	LIMITES DE CONSISTENCIA			GRAVEDAD ESPECIFICA DE LOS GRANOS	GRANULOMETRIA %							COMPACTACION		OBSERVACIONES
				LL %	LP %	IP %		ARCILLA	LIMO	ARENA			GRAVAS	HUMEDAD OPTIMA %	DENSIDAD SECA MAXIMA g/cm ³		
										FINA	MEDIA	GRUESA					
								0,002	0,06	0,2	0,6	2	25	50 mm	75		
SB-21	0305	0,2-1,0	67,0	78,6	58,1	20,5											
SB-21	0310	1,0-3,0	73,3	83,3	62,9	20,4											
SB-22	0315	0,3-1,3	60,4	72,6	57,5	15,1											
SB-22	0316	1,3-2,5	63,6	62,0	47,0	15,0											
SB-23	0318	0,5-1,6	76,5	75,2	67,9	7,3											
SB-25	0312	0,3-1,2	92,5	103,6	72,9	30,7											
SB-25	0313	1,2-2,0	98,9	92,0	73,3	18,7											
SB-26	0311	0,4-1,2	76,1	87,7	63,5	24,2											
SB-26	0314	1,2-2,5	95,2	88,2	61,4	26,8	2,694	30	34	18	13	1	4	-	-	40,0	1,188
SB-27	0317	0,3-2,0	68,7	80,5	56,8	23,7											
SB-31	0319	0,4-1,2	81,3	95,3	63,9	31,4											
SB-31	0320	1,2-2,3	76,0	69,3	46,1	23,2											
SB-24	238	0,0-0,7	88,9	67,3	45,4	21,9											
SB-24	239	0,7-3,0	86,5	63,0	42,3	20,7											
SB-28	240	0,8-2,0	75,3	55,0	39,9	15,1											
SB-29	237	0,7-2,2	86,6	58,4	44,5	13,9											
SB-30	236	0,7-1,7	91,8	66,1	46,6	19,5											

PROYECTO HIDROELECTRICO COCA

LOCAL:

CHACO

AREA:

II

POZO Nº	MUESTRA Nº	PROP. m	HUMEDAD NATURAL %	LIMITES DE CONSISTENCIA			GRAVEDAD ESPECIFICA DE LOS GRANOS	GRANULOMETRIA %								COMPACTACION		OBSERVACIONES
				LL %	LP %	IP %		ARCILLA	LIMO	ARENA			GRAVAS	HUMEDAD OPTIMA %	DENSIDAD SECA MAXIMA g/cm³			
										FINA	MEDIA	GRUESA						
								0,002	0,06	0,2	0,6	2	25	50 mm	75			
SB-41	0301	0,1-1,0	74,6	80,0	61,9	18,1												
"	0302	1,0-2,0	80,4	88,7	63,6	25,1												
"	0304	2,0-3,0	97,4	107,4	89,3	18,1	2,712	38	36	9	8	2	7	-	-	58,7	0.984	
"	0303	3,0-4,0	99,5	108,0	78,3	29,7												
SB-42	0306	0,3-1,0	105,7	103,7	78,2	25,5												
"	0308	1,0-2,0	36,3	48,0	28,6	19,4												
"	0307	2,0-3,0	31,4	47,8	25,3	22,5												
"	0309	3,0-4,0	39,2	36,2	19,2	17,0												
SB-44	0326	0,2-3,0	107,5	115,9	79,0	36,9												
"	0325	3,0-4,0	87,5	91,7	65,5	26,2												
SB-48	0298	1,0-2,0	80,0	89,4	68,6	20,8												
"	0296	2,5-4,0	75,8	95,8	64,6	31,2												
SB-64	0324	0,2-2,4	96,0	115,3	92,0	23,3												
"	0295	2,4-3,8	137,8	94,7	63,7	31,0												
SB-65	0293	1,0-2,0	72,4	70,8	53,8	17,0												
"	0292	2,8-3,8	79,5	80,5	67,8	12,7												
SB-66	0297	2,5-3,8	112,9	92,8	64,6	28,2												

PROYECTO HIDROELECTRICO COCA

LOCAL:

CHACO

AREA:

II

POZO Nº	MUESTRA Nº	PROF. m	HUMEDAD NATURAL %	LIMITES DE CONSISTENCIA			GRAVEDAD ESPECIFICA DE LOS GRANOS	GRANULOMETRIA %								COMPACTACION		OBSERVACIONES
				LL %	LP %	IP %		ARCILLA	LIMO	ARENA			GRAVAS	HUMEDAD OPTIMA %	DENSIDAD SECA MAXIMA g/cm³			
										FINA	MEDIA	GRUESA						
0,002		0,06		0,2		0,6		2		25		50 mm 75						
SB-67	0289	0,3-2,0	73,5	86,1	61,5	24,6												
"	0294	1,0-2,0	108,4	90,8	61,5	29,3												
SB-35	235	0,9-1,9	76,6	58,8	46,0	12,8												
SB-47	233	0,1-1,1	73,5	66,0	46,0	20,0												
"	234	1,1-3,1	73,5	66,6	44,8	21,8												
SB-49	242	0,6-1,9	76,7	62,0	46,3	15,7												
"	243	1,9-2,7	94,6	68,9	52,9	16,0												
SB-55	241	0,4-2,8	94,6	67,4	47,1	20,3												
Pz-1-II		0,2-1,0	80,6	87,4	69,0	18,4	2,599	5	54	32	6	2	1	-	-	50,0	1,045	
"		1,0-2,0	93,0	102,2	77,6	24,6	2,617	5	62	26	5	1	1	-	-	60,9	1,070	
"		2,0-3,0	110,7	115,8	96,5	19,3	2,581	5	56	32	5	1	1	-	-	71,9	0,880	
"		3,0-4,0	88,7	92,9	76,5	16,4	2,594	19	45	30	5	1	-	-	-	61,0	0,995	
SB-39	229	0,1-1,2	84,8	91,8	65,3	26,5												
SB-40	225	0,2-1,2	97,6	88,9	69,5	19,4												
"	226	1,2-4,0	92,7	116,0	97,6	18,4												
SB-50	231	0,2-7,0	115,5	138,0	86,9	51,1	2,690	82	7	8	2	1	-	-		68,2	0,896	
SB-51	230	0,1-4,0	90,5	111,8	95,4	16,4												

II

770

PROYECTO HIDROELECTRICO COCA

LOCAL:

BALSAS

AREA:

I (Arcilla)

ORDEN Nº	MUESTRA Nº	PROF. m	HUMEDAD NATURAL %	LIMITES DE CONSISTENCIA			GRAVEDAD ESPECIFICA DE LOS GRANOS	GRANULOMETRIA %								COMPACTACION		OBSERVACIONES
				LL %	LP %	IP %		ARCILLA	LIMO	ARENA			GRAVAS	HUMEDAD OPTIMA %	DENSIDAD SECA MAXIMA g/cm³			
										FINA	MEDIA	GRUESA						
								0,002	0,06	0,2	0,6	2	25	50 mm	75			
-3		1,0-1,3	38,8	31,9	27,2	4,7												
"	0051	2,3-2,6	61,7	62,0	40,0	22,0												
-5	0048	1,0-1,3	107,2	85,4	52,0	33,4												
"	0049	2,0-2,3	28,9	33,7	26,2	7,5												
-12	0045	1,2-1,5	53,6	52,3	36,3	16,0												
"	0046	2,7-3,0	37,5	35,0	27,6	7,4												
-14	0047	1,0-1,4	65,8	75,5	63,2	12,3	2,749	27	30	17	10	1	15	-	-	40,8	1,187	
-20	0052	0,5-1,0	43,2	55,7	35,8	19,9												
-22	0041	1,1-1,4	94,0	87,6	63,9	23,7												
"	0042	1,8-2,2	75,3	83,8	59,0	24,8	2,717	38	40	12	7	1	2	-	-	42,0	1,104	k=7,25x10 ⁻⁵ cm/s
-24	0043	1,2-1,5	78,0	76,7	52,6	24,1												
"		1,9-2,3	64,4	61,7	50,2	11,5												
-26	0040	1,8-2,2	83,2	92,0	68,9	23,1												
-30		1,1-1,4	73,4	95,0	76,8	18,2												
-41	0026	0,7-1,0	90,0	105,5	77,2	28,3												
"		1,2-1,5	90,2	110,2	86,7	23,5	2,616	6	61	24	7	1	1	-	-	42,5	1,023	
-55		2,5-2,8	68,5	81,5	52,4	29,1	2,48	21	54	17	5	2	1	-	-	36,0	1,229	

PROYECTO HIDROELECTRICO COCA

LOCAL:

BALSAS

AREA:

II (Arcilla)

POZO Nº	MUESTRA Nº	PROF. m	HUMEDAD NATURAL %	LIMITES DE CONSISTENCIA			GRAVEDAD ESPECIFICA DE LOS GRANOS	GRANULOMETRIA %								COMPACTACION		OBSERVACIONES
				LL %	LP %	IP %		ARCILLA	LIMO	ARENA			GRAVAS	HUMEDAD OPTIMA %	DENSIDAD SECA MAXIMA g/cm³			
										FINA	MEDIA	GRUESA						
								0,002	0,06	0,2	0,6	2	25	50 mm	75			
SB-37	0373	0,6-1,4	60,1	53,8	43,1	10,7		11	55	18	15	1	-	-	-	43,6	1,169	
"	0374	1,4-2,0	61,3	50,4	40,4	10,0		12	50	19	17	2	-	-	-	36,4	1,230	k < 10 ⁻⁶ cm/s
SB-38	0363	1,0-2,1	74,0	66,5	44,3	17,2												
SB-44	0370	1,0-2,1	124,5	72,3	56,8	15,5												
SB-45	0367	0,2-1,4	88,2	74,3	54,0	20,3												
"	0369	1,4-2,8	110,3	66,6	45,5	21,1												
SB-47	0375	0,5-1,1	66,1	59,3	48,4	10,9												
SB-54	0364	0,6-1,3	62,0	56,7	43,2	13,5												
"	0365	1,3-2,4	111,3	56,0	45,8	10,2												
SB-56	0376	0,6-1,4	72,3	71,4	55,7	15,7												
SB-64	0377	1,0-2,1	63,4	55,7	47,5	8,2		1	42	33	24	-	-	-	-	49,7	1,108	
SB-65	0378	0,4-1,1	59,2	56,3	43,8	12,5												
SB-70	0379	0,6-1,8	111,1	85,6	66,5	19,1		5	62	21	12	-	-	-	-	57,4	1,028	k < 10 ⁻⁶ cm/s

PROYECTO HIDROELECTRICO COCA

LOCAL:

BALSAS

AREA:

III (Arcilla)

POZO Nº	MUESTRA Nº	PROF. m	HUMEDAD NATURAL %	LIMITES DE CONSISTENCIA			GRAVEDAD ESPECIFICA DE LOS GRANOS	GRANULOMETRIA %								COMPACTACION		OBSERVACIONES
				LL %	LP %	IP %		ARCILLA	LIMO	ARENA			GRAVAS	HUMEDAD OPTIMA %	DENSIDAD SECA MAXIMA g/cm ³			
										FINA	MEDIA	GRUESA						
								0,002	0,06	0,2	0,6	2	25	50 mm	75			
SB-12		0,6-1,3	59,2	60,4	42,7	17,7												
SB-16		1,0-1,4	88,1		N.P.													
SB-17		0,8-1,6	99,3	65,0	55,5	9,5												
SB-21		0,8-1,8	80,5	116,2*	66,5*	49,7*												*sin secar la muestra
				55,6	51,7	3,9												
SB-26		1,5-2,0	68,3		N.P.													
"		2,4-2,8	49,9	50,5	39,1	11,4												
SB-32		2,0-2,9	104,9		N.P.													
SB-33		1,0-1,4	96,9		N.P.			6	45	35	13	1	-	-	-	53,9	1,020	
"		2,0-2,4	111,7	75,6	49,5	26,1		25	31	19	24	1	-	-	-	43,5	1,130*	k < 10 ⁻⁶ cm/s
SB-65		1,0-1,4	110,1	71,0	57,0	14,0		8	58	24	9	1	-	-	-	56,3	0,992	
"		2,0-2,4	69,4	60,9	73,4	17,5		4	44	29	20	3	-	-	-	39,5	1,235	k < 10 ⁻⁶ cm/s
SB-41		0,8-1,3	75,0	57,3	41,2	16,1												
"		2,5-3,0	91,1	74,7	52,6	22,1												
SB-42		0,8-1,4	87,7	68,8	51,2	17,6												
SB-48		1,0-1,9	88,5	59,5	52,2	7,3												
SB-50		0,5-1,5	96,1	58,5	45,2	13,3												
SB-56		0,8-1,4	51,0	50,5	39,1	11,4												

PROYECTO HIDROELECTRICO COCA

LOCAL:

BALSAS

AREA:

III (Arcilla)

POZO Nº	MUESTRA Nº	PROF. m	HUMEDAD NATURAL %	LIMITES DE CONSISTENCIA			GRAVEDAD ESPECIFICA DE LOS GRANOS	GRANULOMETRIA %							COMPACTACION		OBSERVACIONES	
				LL %	LP %	IP %		ARCILLA	LIMO	ARENA			GRAVAS	HUMEDAD OPTIMA %	DENSIDAD SECA MAXIMA g/cm³			
										FINA	MEDIA	GRUESA						
								0,002	0,06	0,2	0,6	2	25	50 mm	75			
SB-57		0,2-1,2	79,2	61,9	52,1	9,8												
SB-64		0,8-1,4	106,4	61,6	45,2	16,4												
"		1,8-2,8	86,0	61,7	43,2	18,5												
SB-66		1,2-2,2	86,9	80,2	58,1	22,1												
SB-72		0,3-2,2	59,8	67,7	44,4	23,3												
SB-73		0,5-1,8	59,5	69,7	52,6	17,1												
SB-75		0,8-1,4	70,5		N. P.													
"		1,8-2,4	58,1	60,9	42,1	18,8												
SB-76		0,8-1,4	79,6	65,6	48,2	17,4												
SB-80		0,8-1,5	79,7	52,2	41,1	11,1												
"		1,5-2,3	61,0	56,1	44,3	11,8												

PROYECTO HIDROELECTRICO COCA

LOCAL:

BALSAS

AREA:

IV (Arcilla)

POZO Nº	MUESTRA Nº	PROF. m	HUMEDAD NATURAL %	LIMITES DE CONSISTENCIA			GRAVEDAD ESPECIFICA DE LOS GRANOS	GRANULOMETRIA %								COMPACTACION		OBSERVACIONES
				LL %	LP %	IP %		ARCILLA	LIMO	ARENA			GRAVAS	HUMEDAD OPTIMA %	DENSIDAD SECA MAXIMA g/cm ³			
										FINA	MEDIA	GRUESA						
								0,002	0,06	0,2	0,6	2	25	50 mm	75			
SB-44	0069	1,4-1,8	85,8	97,6	68,7	28,9	2,65	20	47	22	9	1	1	-	-	42,6	1,132	k=4,4x10 ⁻⁶ cm/s
"	0070	2,4-2,8	-	83,1	61,8	21,3	2,72	39	39	11	6	3	2	-	-	50,3	1,035	
SB-66	0071	1,4-1,9	64,4	64,2	43,6	20,6	-											
SB-86	0072	0,8-1,2	50,6	91,7	68,8	22,9	-											
"	0073	2,0-2,8	-	59,9	38,6	21,3	-											
SB-87	0074	1,0-1,8	90,4	69,2	42,7	26,5	-											
SB-88	0075	1,0-1,8	32,5	52,8	41,3	11,6	-											
SB-97	0076	0,8-1,5	41,4	62,5	46,6	15,9	2,70	36	47	6	4	3	4	-	-	25,0	1,470	k=7,7x10 ⁻⁷ cm/s
"	0077	1,6-2,4	-	49,3	35,5	13,8	2,70	27	53	12	6	2	-	-	-	26,0	1,490	
SB-91	0078	0,7-1,6	48,5	60,7	45,6	15,1	-											
"	0079	1,7-2,6	73,4	62,0	55,7	6,4	-											
SB-45	-	0,6-1,3	110,8	129,5	88,5	41,0	-											
SB-26	-	1,0-2,1	114,6	131,4	65,2	66,3												
SB-82	-	1,6-2,5	82,6	63,2	39,6	23,6												
SB-78	-	1,0-2,0	55,6	63,3	35,7	27,6												
"	-	2,0-3,0	61,4	106,5	58,4	48,1												
SB-67	-	0,6-1,7	95,5	94,0	51,4	42,6												

[illegible]

PROYECTO HIDROELECTRICO COCA

LOCAL:

SALADO

AREA:

I

POZO Nº	MUESTRA Nº	PROF. m	HUMEDAD NATURAL %	LIMITES DE CONSISTENCIA			GRAVEDAD ESPECIFICA DE LOS GRANOS	GRANULOMETRIA %								COMPACTACION		OBSERVACIONES
				LL %	LP %	IP %		ARCILLA	LIMO	ARENA			GRAVAS	HUMEDAD OPTIMA %	DENSIDAD SECA MAXIMA g/cm³			
										FINA	MEDIA	GRUESA						
0,002		0,06		0,2		0,6		2		25		50 mm 75						
SB-1		0,0-1,5	110,8	150,0 60,8	82,1 47,0	67,9* 13,8												*Sin secado de la muestra
"		1,5-2,3	62,4	65,5	28,7	36,8												
SB-2		0,0-1,5	109,6	65,3	64,4	0,9												
"		1,5-4,7	114,9	104,2	65,9	38,3												
"		4,7-5,8	116,1	70,8	45,6	25,2												
Pz-4		0,0-1,0	110,1	132,2	91,2	41,0												
"		1,0-2,0	111,2	137,0	104,2	32,8												
"		2,0-3,0	51,0	58,5	46,4	12,1												
Pz-2		0,0-1,0	101,4	75,1	61,3	13,8												
Pz-3/I	0260	0,0-1,0	119,1	130,2	84,7	45,5	2,60	18	60	16	5	0,5	0,5	-	-	62,8	0,782	
"	0261	1,0-2,0	136,3	128,7	91,6	37,2	2,75	50	41	7	2	-	-	-	-	59,6	0,795	
"	0262	2,0-3,0	97,0	93,0	77,5	15,5	2,67	5	85	6	3	1	-	-	-	48,2	0,947	
"	0263	3,0-3,6	94,2	97,0	75,2	21,9	2,71	55	34	7	3	1	-	-	-	51,3	0,910	
SB-S-22	0572	0,4-1,2	174,2	239,4	186,1	53,3												
"	0573	1,2-3,0	39,8	52,0	36,0	16,0												
"	0566	3,0-5,0	35,3	54,3	37,4	16,9												

PROYECTO HIDROELECTRICO COCA

LOCAL:

SALADO

AREA:

I

POZO Nº	MUESTRA Nº	PROF. m	HUMEDAD NATURAL %	LÍMITES DE CONSISTENCIA			GRAVEDAD ESPECÍFICA DE LOS GRANOS	GRANULOMETRÍA %							COMPACTACIÓN		OBSERVACIONES
				LL %	LP %	IP %		ARCILLA	LIMO	ARENA			GRAVAS	HUMEDAD OPTIMA %	DENSIDAD SECA MÁXIMA g/cm³		
										FINA	MEDIA	GRUESA					
								0,002	0,06	0,2	0,6	2	25	50 mm	75		
SB-S-23	0567	0,3-1,4	168,7	174,6	137,8	36,8											
"	0568	1,4-2,1	47,0	77,6	52,8	24,8											
"	0569	2,1-3,4	30,3	64,9	37,6	27,3											
SB-S-26	0563	0,3-1,6															
"	0564	1,6-3,8	30,5	54,1	36,5	17,6											
SB-S-27	0565	0,3-1,6	106,2	111,8	84,0	27,8											
"	0574	1,6-3,2	120,4	75,5	61,8	13,7											
SB-S-29	0575	0,3-1,5	152,6	176,0	142,0	34,0											
"	0576	1,5-3,4	22,3	44,1	32,3	11,8											
SB-S-32	0577	0,4-1,6	102,9	126,9	86,3	40,6	2,549	22	60	13	3	2	-	-	-	60,6 0,890 $k=4,2 \times 10^{-8}$ cri/s	
"	0584	1,6-3,0	98,6	106,1	76,9	29,2	2,652	20	53	19	6	2	-	-	-	57,8 0,961 $k=3,9 \times 10^{-5}$ cm/s	
SB-S-19	0590	0,4-2,2	256,6	293,3	236,2	57,1											
"	0591	2,2-4,6	198,6	189,8	154,6	35,2											
SB-S-13	0581	0,3-2,0	115,5	122,6	90,8	31,8	2,557	12	64	15	7	2	-	-	-	63,0 0,912 $k=1,7 \times 10^{-6}$ cm/s	
"	0582	2,0-3,4	29,3	72,9	47,4	25,5	2,671	53	42	4	1	-	-	-	-	23,8 1,469 $k=4,1 \times 10^{-6}$ cm/s	
SB-S-9	0583	0,3-2,0	148,6	195,6	144,5	51,1											
"	0578	2,0-3,6	35,1	42,0	31,0	11,0											

PROYECTO HIDROELECTRICO COCA

LOCAL:

SALADO

AREA:

I

POZO Nº	MUESTRA Nº	PROF. m	HUMEDAD NATURAL %	LÍMITES DE CONSISTENCIA			GRAVEDAD ESPECÍFICA DE LOS GRANOS	GRANULOMETRÍA %								COMPACTACIÓN		OBSERVACIONES
				LL %	LP %	IP %		ARCILLA	LIMO	ARENA			GRAVAS	HUMEDAD OPTIMA %	DENSIDAD SECA MAXIMA g/cm ³			
										FINA	MEDIA	GRUESA						
																0,002	0,06	
SB-S-25	0579	0,4-1,4	101,1	108,6	83,1	25,5	2,554	20	56	17	5	2	-	-	-	60,7	0,920	k=1,8x10 ⁻⁵ cm/s
"	0580	1,4-3,6	109,0	116,3	82,5	33,8	2,591	26	51	14	5	3	1	-	-	50,3	1,025	k=4,5x10 ⁻⁷ cm/s
SB-S-39	0585	0,4-2,3	158,7	171,4	136,1	35,3												
"	0586	2,3-3,4	102,2	99,4	61,3	38,1												
SB-S-38	0587	0,4-2,2	129,5	151,9	123,6	28,3												
"	0588	2,2-3,4	159,8	208,1	153,8	54,3												
SB-S-8	0589	0,6-1,7	148,9	153,8	123,4	30,4	2,475	26	44	21	8	1	-	-	-	63,0	0,921	k=2,8x10 ⁻⁵ cm/s
"	0592	1,7-3,4	46,6	52,4	43,1	9,3	2,703	27	43	23	6	1	-	-	-	16,3	1,705	k=8,8x10 ⁻⁸ cm/s
SB-S-7	0593	0,6-1,5	125,8	145,6	116,1	29,5												
"	0594	1,5-3,3	144,9	159,5	127,9	31,6												
SB-S-33	0595	0,3-1,3	162,8	173,2	139,9	33,3												
"	0596	1,3-3,3	133,0	157,8	131,4	26,4												
SB-S-30	0597	0,4-1,8	93,5	146,8	119,5	27,3	2,705	12	65	17	5	1	-	-	-	81,6	0,773	k=9,7x10 ⁻⁷ cm/s
"	0199	1,8-4,0	156,8	148,0	132,0	16,0	2,579	13	68	9	5	4	1	-	-	91,4	0,751	k=2,0x10 ⁻⁷ cm/s
SB-S-16	0465	0,1-1,0	121,8	152,8	111,0	41,8												
"	0466	1,0-2,5	140,0	109,1	97,8	11,3												

PROYECTO HIDROELECTRICO COCA

LOCAL:

SALADO

AREA:

I

POZO Nº	MUESTRA Nº	PROF. m	HUMEDAD NATURAL %	LIMITES DE CONSISTENCIA			GRAVEDAD ESPECIFICA DE LOS GRANOS	GRANULOMETRIA %								COMPACTACION		OBSERVACIONES
				LL %	LP %	IP %		ARCILLA	LIMO	ARENA			GRAVAS	HUMEDAD OPTIMA %	DENSIDAD SECA MAXIMA g/cm ³			
										FINA	MEDIA	GRUESA						
								0,002	0,06	0,2	0,6	2	25	50 mm	75			
SB-S-15	0467	0,2-1,0	148,4	173,1	133,4	39,7												
"	0468	1,0-3,0	187,1	206,0	142,6	63,4												
SB-S-14	0469	0,0-1,0	161,1	198,1	144,4	53,7												
"	0470	1,0-2,0	166,4	185,4	145,1	40,3												
SB-S-18	0471	0,1-1,3	123,4	147,7	115,0	32,7	2,503	13	61	17	6	3	-	-	-	60,5	0,900	k=8,2x10 ⁻⁶ cm/s
SB-S-17	0472	0,2-1,2	124,4	143,6	110,3	33,3												
"	0474	1,2-3,3	123,9	170,9	128,2	42,7												
SB-S-18	0473	1,3-2,5	140,8	156,0	123,8	32,2	2,472	12	71	11	3	2	1	-	-	65,3	0,895	k=1,1x10 ⁻⁵ cm/s
"	0475	2,5-5,0	129,9	138,0	94,9	43,1	2,684	22	51	15	8	4	-	-	-	72,1	0,835	k=9,5x10 ⁻⁷ cm/s
SB-S-21	0476	0,2-1,2	132,2	151,2	120,8	30,4												
"	0477	1,2-3,0	129,6	145,1	116,3	28,8												
SB-S-20	0478	0,2-1,3	161,3	236,5	196,9	39,6												
"	0479	1,3-3,0	165,1	175,1	128,3	46,8												
SB-S-24	0480	0,0-2,0	75,4	74,8	50,2	24,6												
SB-S-28	0481	0,0-1,0	164,4	176,8	126,2	50,6												
SB-S-37	0482	0,2-1,3	165,8	193,3	144,5	48,8	2,430	9	71	15	4	1	-	-	-	97,0	0,684	k=2,0x10 ⁻⁶ cm/s
"	0483/84	1,3-3,2	192,7	230,8	173,8	57,0	2,456	22	60	14	2,5	1,5	-	-	-	115,6	0,618	k=2,4x10 ⁻⁶ cm/s

CONSORCIO
HIDROSERVICE / IA

RESULTADOS NUMERICOS DE LOS ENSAYOS DE CARACTERIZACION Y COMPACTACION

INECEL

PROYECTO HIDROELECTRICO COCA

LOCAL:

SALADO

AREA:

I

POZO Nº	MUESTRA Nº	PROF. m	HUMEDAD NATURAL %	LIMITES DE CONSISTENCIA			GRAVEDAD ESPECIFICA DE LOS GRANOS	GRANULOMETRIA %								COMPACTACION		OBSERVACIONES
				LL %	LP %	IP %		ARCILLA	LIMO	ARENA			GRAVAS	HUMEDAD OPTIMA %	DENSIDAD SECA MAXIMA g/cm ³			
										FINA	MEDIA	GRUESA						
								0,002	0,06	0,2	0,6	2	25	50 mm	75			
TR-1-II	0494	0,3-5,0	185,2	199,0	151,7	47,3												
"	0495	5,0-10,4	198,6	235,0	178,5	56,5												
" 2-II	0496	0,3-2,5	136,3	168,8	150,2	18,6												
"	0497	2,5-5,0	74,4	64,2	54,7	9,5												
SB-S-80	0327	0,3-2,3	115,6	131,2	111,9	19,3												
"	0328	2,3-4,4	89,6															
"	0329	4,4-6,4		95,5	78,2	17,3	2,619	44	51	3	1	1	-	-	-	50,5	1,074	k=4,5x10 ⁻⁷ cm/s
"	0330	6,4-8,0																
SB-S-81	0333	0,1-2,3	263,2	183,9	153,9	30,0												
"	0334	2,3-4,5	76,0	80,0	58,1	21,9												
SB-S-82	0290	0,3-1,3	136,2	203,2	152,2	51,0												
"	0291	1,3-4,2	98,3	157,0	135,2	21,8												
SB-S-83	0322	0,2-1,3	141,9	167,0	132,9	34,1	2,460	9	70	15	4	2	-	-	-	62,5	0,874	k=8,4x10 ⁻⁸ cm/s
"	0323	1,3-2,8																
LAHAR			12,6		N.P.		2,825	-	4	9	22	25	37	3	-	9,0	1,998	

ANEXO II - GEOLOGIA, SISMOLOGIA y MECANICA DE SUELOS

APENDICE III

ESTUDIOS PETROGRAFICOS

DESCRIPCION PETROGRAFICA

MUESTRA Nº 1: M-1 afloramiento Nº 3
LOCALIDAD: Sitio de presa Borja, margen derecha
DESCRITA POR: E. Almeida

DESCRIPCION MACROSCOPICA:

- Color: Gris Claro
- Grado de Alteración: Ninguna, roca fresca
- Estructura: Bandeamiento fluidal
- Textura: Pilotaxítica
- Minerales (10 x): Plagioclasa, piroxeno
- Reacción HCL: Ninguna

DESCRIPCION MICROSCOPICA:

- Textura: Pilotaxítica
- Cristalinidad: Hipocristalina
- Granularidad: Tamaño máximo
- Microestructura: Finocristales en una matriz constituida por microlitos orientados paralelamente, dando un bandeamiento fluidal. Los microlitos están encerrados por vidrio volcánico.

MINERALES ESENCIALES:

- Plagioclasa: Composición probable labradorita, no existe un número suficiente de cristales aptos para su determinación. Se presenta como fenocristales subhedrales a anhedrales, zonados y con bordes absorbidos por la matriz.
- Hiperstena: Fenocristales, anhedrales y subhedrales, los bordes están contaminados con minerales opacos

MINERALES DE LA MATRIZ

- Plagioclasa Microlitos elongados, subhedrales y con bordes absorbidos.
- Opacos Magnetita anhedral
Limonita amorfa
- Vidrio volcánico Rellenando intersticios

MINERALES ACCESORIOS

- Opacos Magnetita anhedral
Limonita, mineral de alteración

ANEXO II - GEOLOGIA, SISMOLOGIA Y MECANICA DE SUELOS

COMPOSICION

- Plagioclasa 30%
- Hiperstena 20%
- Magnetita 8%
- Limonita 2%
- Vidrio volcánico 40%

CLASIFICACION Andesita basáltica

DESCRIPCION PETROGRAFICA

MUESTRA Nº M-2 afloramiento Nº 7
LOCALIDAD sitio de presa Borja, margen derecha
DESCRITA POR E. Almeida

DESCRIPCION MACROSCOPICA

- Color Gris
- Grado de alteración Ninguno, roca fresca
- Estructura Ninguna visible en muestra de mano
- Textura Porfirítica
- Minerales (10 x) Plagioclasa, piroxeno, vidrio volcánico
- Reacción HCL Ninguna

ANEXO II - GEOLOGIA, SISMOLOGIA Y MECANICA DE SUELOS

DESCRIPCION MICROSCOPICA

- Textura Porfírica de matriz hialopilítica
- Cristalinidad Hipocristalina
- Granularidad Tamaño máximo de los fenocristales (3.3 x 1.3) mm., el promedio (0.6 x 0.3) mm., la matriz es afanítica.
- Microestructura Los microlitos subparalelos al igual que los fenocristales dan una estructura de bandeamiento fluidal.

MINERALES ESENCIALES:

- Plagioclasa Composición An 49 = Andesina. Euhedral a subhedral, zonada.
- Hiperstena Fenocristales subhedrales
- Augita Fenocristales euhedrales

MINERALES DE LA MATRIZ:

- Plagioclasa Microlitos subhedrales
- Opacos Magnetita amorfa, fino granular
- Vidrio Volcánico
- Minerales accesorios
- Opacos Magnetita ligeramente limonitizada redondeada

ANEXO II - GEOLOGIA, SISMOLOGIA Y MECANICA DE SUELOS

COMPOSICION

Plagioclasa	40%
Hiperstena	5%
Augita	5%
Opacos	15%
Vidrio Volcánico	35%

CLASIFICACION Andesita

DESCRIPCION PETROGRAFICA

MUESTRA N°: M-3 afloramiento N° 12
LOCALIDAD: sitio de presa Borja, margen izquierda, cantera
DESCRITA POR: E. Almeida.

DESCRIPCION MACROSCOPICA:

- Color Gris
- Grado de alteración Ninguna, roca fresca
- Estructura Fenocristales suborientados dan un ligero bandeamiento fluidal. la roca es vesicular
- Textura Porfirítica

ANEXO II - GEOLOGIA, SISMOLOGIA Y MECANICA DE SUELOS

- Minerales (10 X) Plagioclasa, piroxeno, vidrio, volcánico.
- Reacción HCL ninguna

DESCRIPCION MICROSCOPICA

- Textura Porfirítica de matriz pilotaxítica.
- Cristalinidad Hipocristalina
- Granularidad Tamaño máximo de los fenocristales (4.8 x 2.2) mm, la matriz es afanítica.
- Forma de los cristales Los fenocristales son hipidiomórficos hasta idiomórficos.
- Micro Estructura Los fenocristales de plagioclasa son subparalelos al igual que los microlitos de la matriz. Existe un xenolito de bordes redondeados.

MINERALES ESCENCIALES

- Plagioclasa Fenocristales alargados, de bordes redondeados y presentando reaccion con la matriz. La composición aproximada de la plagioclasa es An 53 - Labradorita.

- Hiperstena Fenocristales alargados, de bordes redondeados y presentando reacción un cristal tiene en sus bordes piroxenos muy fino granulares.
- Pigeonita Fenocristales euhedrales.

MINERALES DE LA MATRIZ

- Plagioclasa Microlitos de 0.05 mm de largo, maclados
- Piroxenos Cristales pequeños no diferenciados
- Opacos Granos redondeados, magnetita y sulfuros
- Vidrio Color café oscuro, rellena intersticios
- Observación En esta lámina delgada existe un xenolito redondeado con bordes reaccionados con la matriz. Está compuesta casi exclusivamente por plagioclasa anhedral y equidimensional. Además tiene inclusiones de magnetita redondeada y piroxeno la roca es fresca.

ANEXO II - GEOLOGIA, SISMOLOGIA Y MECANICA DE SUELOS

- Composición
 - Plagioclasa 35%
 - Hiperstena 10%
 - Pigeonita 5%
 - Opacos 5%
 - Vidrio volcánico 45%
- Clasificación
 - Andesita basáltica

DESCRIPCION PETROGRAFICA

MUESTRA N°: M-4 afloramiento N° 13
LOCALIDAD: Sitio de presa Borja, margen izquierda, cantera
DESCRITA POR: E. Almeida

DESCRIPCION MACROSCOPICA

- Color
 - Gris
- Grado de alteración
 - Ninguno, roca fresca
- Estructura
 - Ninguna, roca maciza
- Textura
 - Porfirítica.
- Minerales (10X)
 - Plagioclasa, anfíbol?, piroxeno,
vidrio volcánico, ceolita?

ANEXO II - GEOLOGIA, SISMOLOGIA Y MECANICA DE SUELOS

- Reacción HCL

DESCRIPCION MICROSCOPICA

- Textura Porfirítica de matriz hialopilítica
- Cristalinidad hipocristalina
- Granularidad Tamaño máximo de los fenocristales (1.2 x 0.1) mm la matriz es afanítica.
- Microestructura Ninguna

MINERALES ESCENCIALES

- Plagioclasa Subhedral, redondeada, fenocristales con bordes de reacción, maclados. Composición desconocida
- Augita Fenocristales subhedrales a euhedrales, zonados con inclusiones de opacos
- Hiperstena Fenocristales subhedrales a euhedrales, algunos cristales tienen un halo de diminutos cristales de augita

ANEXO II - GEOLOGIA, SISMOLOGIA Y MECANICA DE SUELOS

MINERALES DE LA MATRIZ

- Plagioclasa Microlitos de 0.05 mm de largo
- Piroxeno Probablemente augita, subhedral
cristales muy pequeños
- Vidrio Volcánico Color café claro, rellena inters-
ticios

MINERALES ACCESORIOS

- Opacos Sulfuros se presentan principal-
mente en fenocristales redondeados,
Magnetita es más abundante en la
matriz.

- Composición

Plagioclasa	30%
Augita	15%
Hiperstena	2%
Opacos	10%
Vidrio volcánico	43%

- Clasificación Andesita basáltica

ANEXO II - GEOLOGIA, SISMOLOGIA Y MECANICA DE SUELOS

DESCRIPCION PETROGRAFICA

MUESTRA Nº	B-2
LOCALIDAD	Sitio de presa Balsas margen derecha del rio Coca
DESCRITA POR	E. Almeida

DESCRIPCION MACROSCOPICA:

- Color	Gris oscuro
- Grado de Alteración	Ligera oxidación en los planos de fractura
- Estructura	Ninguna, roca maciza
- Textura	Alotromórfica granular
- Minerales (10 x)	Máficos cloritizados, plagiocla- sa sausuritizada
- Reacción HCL	Ninguna

DESCRIPCION MICROSCOPICA

- Textura	Intersertal
- Grado de Cristalinidad	Holocristalina
- Granularidad	Tamaño máximo de los cristales (1.7 x 0.5) mm., el más común (0.4 x 0.2)mm, medidos en plagio- clasa. La roca es inequigranular

- Microestructura Los cristales no tienen una orientación definida, están distribuidos al azar
- Forma de los cristales Hipidiomórficos
- Minerales esenciales
- Plagioclasa Subhedral, obscurecida debido a una incipiente alteración, tiene maclas no bien definidas. La plagioclasa se encuentra alterada a clorita y posiblemente a epidota serucita y carbonato. El tamaño muy fino de estos productos impide su determinación precisa.
- Augita Subhedral, no pleocroica, color verdoso pálido

MINERALES ACCESORIOS

- Opacos Magnetita y sulfuros en cristales octahédricos y cúbicos respectivamente. La magnetita es amorfa con bordes angulosos. Además minerales opacos muy finos están asociados con clorita. Presentan una ligera alteración a limonita.

MINERALES DE ALTERACION

- Clorita Forma agregados en los cuales está asociada con opacos y carbonatos. Es producida por la alteración de un mineral máfico no determinado.
- Calcita Principalmente aparece como alteración de la plagioclasa.
- Limonita Aparece como oxidación de los opacos
- Composición

Plagioclasa	62%
Augita	22%
Opacos	4%
Clorita	10%
Carbonato	2%
Limonita	tr
- Clasificación Debido a la alteración de la roca, principalmente de la plagioclasa no es posible una determinación y clasificación exacta de la misma. La textura indica un cuerpo hipobasal. Principalmente la presencia de piroxeno sugiere que esta roca es una Diabasa.

DESCRIPCION PETROGRAFICA

MUESTRA N°: B-1
LOCALIDAD: Sitio de presa Balsas, margen derecha
del río Coca
DESCRITA POR: E. Almeida

DESCRIPCION MACROSCOPICA

- Color Gris verdoso
- Grado de alteración ligeramente alterada
- Estructura Roca maciza
- Textura Hipidiomórfica a xenomórfica granular
- Minerales (10 X) Hornblenda, plagioclasa saussuritizada
- Reacción HCL Se produce una débil efervescencia

DESCRIPCION MICROSCOPICA

- Textura Intersertal
- Grado de cristalinidad Hipocristalina a halocristalina
- Granularidad Tamaño máximo (2.2 x 0.7) mm, el promedio (0.7 x 0.4) mm, medido en plagioclasa.
- Microestructura Los cristales se encuentran distribuidos al azar, no tienen una orientación definida.

ANEXO II - GEOLOGIA, SISMOLOGIA Y MECANICA DE SUELOS

- Forma de los cristales Hipidiomórficos o idiomórficos.

MINERALES ESENCIALES

- Plagioclasa Subhedral a euhedral, con maclas en albita. Presenta una débil zonación. Composición An 58 = labradorita. La plagioclasa está parcialmente alterada.
- Enstatita Subhedral a euhedral, color amarillento pálido. Presenta acoplamiento de cristales. Tiene inclusiones de opacos y está asociado con sus minerales. Los cristales están frescos.
- Augita Subhedral, color verdoso pálido asociado con los minerales opacos y localmente con plagioclasa. Los cristales son frescos.

MINERALES ACCESORIOS

- Apatito Subhedral, ligeramente empolvado y con bordes dentados.
- Opacos Magnetita anhedral. Ilmenita alterada a leucoxeno sulfuros subhedrales asociados con magnetita

ANEXO II - GEOLOGIA, SISMOLOGIA Y MECANICA DE SUELOS

MINERALES DE ALTERACION

- Clorita Variedad pennina, se encuentra asociada íntimamente con carbonatos. Algunos cristales están encerrados por minerales opacos.
- Carbonatos Amorfos y pequeños, asociados con plagioclasa y clorita
- Composición
 - plagioclasa 64%
 - enstatita 4%
 - Augita 6%
 - apatito tr
 - opacos 8%
 - clorita 8%
 - carbonatos 10%
- Clasificación Diabasa

DESCRIPCION PETROGRAFICA

MUESTRA N° S-3

LOCALIDAD Sitio de presa El Salado, margen izquierda del Rio Coca.

DESCRITA POR E.Almeida

ANEXO II - GEOLOGIA, SISMOLOGIA Y MECANICA DE SUELOS

DESCRIPCION MACROSCOPICA

- Color Gris oscuro con moteados blancos
- Grado de Alteración Oxidación en los planos de fractura y leve alteración mineralógica.
- Estructura Roca maciza
- Textura Hipidiomórfica a xenomórfica granular
- Minerales (10 X) Hornblenda, plagioclasa, cuarzo, clorita (producto de alteración), sericita (idem)
- Reacción HCL Ninguna

DESCRIPCION MICROSCOPICA

- Textura Hipidiomórfica a xenomórfica
- Grado de cristalinidad Halocristalina
- Granularidad Tamaño máximo (2.1 x 1.3) mm, el promedio es 1.3 mm de diámetro
- Microestructura Los cristales no tienen una orientación cristalográfica definida. Se observan microfracturas.
- Forma de los cristales Hipidiomórficos.

MINERALES ESENCIALES:

- Plagioclasa Subhedral, parcialmente alterada, macrada en albita, carlsbad y periclina combinadas. Tiene una ligera zonación.

- Cuarzo Anhedral, rellena intersticios. Ligeramente empolvado, está localmente asociado con plagioclasa en intercrecimientos gráficos dando mirmequíticas.
- Feldesnato Potacico Anhedral, completamente alterado.
- Biotita Bastante cloritizada, asociada abundantemente con sulfuros.
- Hiperstena Desde incoloro hasta verdoso pálido, Los bordes presentan alteración probablemente a clorita. Cristales subhedrales asociado con minerales opacos y con pigeonita.
- Pigeonita Cristales subhedrales, pleocroico desde incoloro hasta rosado, alterada parcialmente a serpentina.

MINERALES ACCESORIOS

- Apatito Euhedral, asociado principalmente con plagioclasa
- Opacos Magnetita anhedral, cristales pequeños sulfuros euhedrales
-

ANEXO II - GEOLOGIA, SISMOLOGIA Y MECANICA DE SUELOS

MINERALES DE ALTERACION

- Clorita Variedad pennina, alteración de biotita y hornblenda.
- Carbonato Amorfos y de grano fino, asociado intimamente con clorita.
- Serpentina Alteración de pigeonita, color verdoso pálido.
- Composición
 - plagioclasa 58%
 - cuarzo 5%
 - feldespato potácico 2%
 - biotita 6%
 - hiperstena 2%
 - pigeonita 3%
 - apatito tr
 - opacos 6%
 - clorita 17%
 - carbonatos 1%
 - serpentina tr.
- Clasificación Granodiorita alterada.

DESCRIPCION PETROGRAFICA

MUESTRA N° S-4
LOCALIDAD Sitio de presa El Salado, margen izquierda
del Río Coca
DESCRITA POR E. Almeida

DESCRIPCION MACROSCOPICA

- Color Gris claro con moteados negros
- Grado de Alteración Oxidación en los planos de fractura
- Estructura Roca maciza
- Textura Hipidiomórfica granular
- Minerales (10 X) cuarzo, plagioclasa, hornblenda?,
biotita
- Reacción HCL Ninguna

DESCRIPCION MICROSCOPICA

- Textura Hipidiomórfica
- Grado de cristalinidad Holocristalina
- Tamaño de los cristales Tamaño máximo (3 x 1.5) mm, el pro-
medio (0.9 x 0.6) mm, medidos en pla-
gioclasa. La roca es de grano fino
a medio, inequigranular

ANEXO II - GEOLOGIA, SISMOLOGIA Y MECANICA DE SUELOS

- Micro estructura Los cristales están orientados al azar
- Forma de los cristales Hipidiomórficos
-

MINERALES ESENCIALES:

- Plagioclasa Subhedral a euhedral, debido a una incipiente alteración presenta un color café pálido. Tiene maclas pero no apropiadas para hallar la composición de los cristales, además presenta zonación. Tiene maclas combinadas de albita y carlsbad e inclusiones de sericita, epidota y calcita.
- Pertita Anhedral, prácticamente rellena intersticios. Presenta más alteración que la plagioclasa.
- Cuarzo Rellena intersticios, extinción normal
- Biotita Color pardo, los bordes son de color verdoso debido a la cloritización que presenta. Pleocroica desde café claro hasta pardo rojizo, euhedral. Forma agregados laminares.
- Hornblenda Pleocroica desde verde hasta verde pálido, subhedral a anhedral. Se encuentra ligeramente cloritizada.

MINERALES ACCESORIOS:

- Opacos Magnetita y sulfuros anhedrales a euhedrales, tienen los bordes dentados y están asociados principalmente con biotita y hornblenda.
- Apatito Cristales euhedrales, pequeños, asociados principalmente con cuarzo.

MINERALES DE ALTERACION:

- Carbonato Amorfo, principalmente producido por alteración de la plagioclasa.
- Sericita Pequeñas escamitas incluidas en la plagioclasa.
- Clorita Principalmente producida por la alteración de hornblenda y biotita. También está incluida en plagioclasa.
- Composición

Plagioclasa	48%
epertita	12%
cuarzo	10%
biotita	4%
hornblenda	4%
opacos	6%
apatito	tr

ANEXO II - GEOLOGIA, SISMOLOGIA Y MECANICA DE SUELOS

calcita 8%

sericita tr

clorita 8%

- Clasificación Granodiorita

- Observaciones La presencia de plagioclasa zonada indica posiblemente un enfriamiento relativamente rápido de la roca, lo cual ocurre cerca de los contactos del intrusivo con la roca encajante.

DESCRIPCION PETROGRAFICA

MUESTRA Nº 41

LOCALIDAD Sitio de presa El Chaco, margen derecha del Río Quijos.

DESCRITA POR: E. Almeida

ANALISIS MACROSCOPICO

- Color Gris oscuro

- Grado de alteración Oxidación en los planos de fractura, la roca es fresca.

ANEXO II - GEOLOGIA, SISMOLOGIA Y MECANICA DE SUELOS

- | | |
|-----------------|---|
| - Estructura | Vesicular |
| - Textura | Porfídica, matriz afanítica. |
| - Minerales 10X | Plagioclasa, piroxeno, vidrio volcánico |
| - Reacción HCL | Ninguna. |

ANALISIS MICROSCOPICO

- | | |
|-------------------|--|
| - Textura | Porfídica, la matriz es de textura intersertal |
| - Cristalinidad | Hipocristalina |
| - Granularidad | El tamaño máximo de los fenocristales es de (2.2 x 1.0) mm, el promedio (1.0 x 0.5)mm, la matriz tiene microlitos de (0.2 x 0.04)mm. la muestra de mano presenta fenocristales de (3.0 x 0.5)mm. |
| - Microestructura | Ninguna. |

MINERALES ESENCIALES:

- | | |
|----------------|--|
| - Plagioclasa. | Fenocristales de bordes redondeados, composición promedio An 49 Andesina, tiene bordes de reacción. Los cristales son frescos. |
|----------------|--|

- Hiperstena Fenocristales subhedrales a anhedrales, pleocroico de neutro a rojizo pálido, zonado, los bordes son de reacción. los cristales presentan coronas de la misma composición.

- Augita - Fenocristales incoloros no pleocroicos, subhedrales, con maclas polisintéticas, zonadas, no presenta bordes de reacción.

MINERALES ACCESORIOS

- Opacos Magnetita, cristales equidimensionales y de bordes dentados

MINERALES DE LA MATRIZ

- Plagioclasa Microlitos subhedrales sin maclas
- Piroxeno Incoloro no pleocroico, anhedral. Posiblemente sea augita.
- Opacos Magnetita
- Vidrio Volcánico Color café oscuro

ANEXO II - GEOLOGIA, SISMOLOGIA Y MECANICA DE SUELOS

- Composición
 - Plagioclasa 36%
 - Hiperstena 10%
 - Augita 12%
 - Opacos 2%
 - Vidrio volcánico 36%
 - Piroxeno (matriz) 4%
- Clasificación Andesita
- Observación La composición de la plagioclasa (An 49) posiblemente sea un poco exagerado, la falta de cristales aptos impide tomar una medida más exacta.

DESCRIPCION PETROGRAFICA

MUESTRA Nº 8

LOCALIDAD Sitio de presa El Salado, margen derecha del río Quijos

DESCRITA POR: E. Almeida

DESCRIPCION MACROSCOPICA

- Color Gris obscuro
- Grado de alteración Ninguno, roca fresca
- Estructura Roca maciza
- Textura Afanítica
- Minerales (10 X) No identificables
- Reacción HCL ninguna

DESCRIPCION MICROSCOPICA

- Textura Microporfídica
- Cristalinidad Halocristalina
- Granularidad Tamaño máximo de los microfenocristales (0.1 x 0.01)mm, medido en plagioclasa. La matriz es afanítica hasta criptocristalino. Los minerales opacos alcanzan hasta (0.5 x 0.2)mm. Fragmentos líticos tienen un tamaño máximo de (0.3 x 0.1) mm.
- Microestructura Existe un muy débil bandeamiento formado por capas de material criptocristalino. Una microfractura rellenada corta a la lámina.

MINERALES ESENCIALES:

- plagioclasa Ligeramente obscurecida, subhedral, con maclas borrosas, extinción ondulada, no tiene zonación. Presenta inclusiones de un mineral verde. los bordes de los cristales son saturados.
- Augita Color neutro y verdoso pálido, no pleocroica. Anhedral, bordes dentados.
- Piroxeno Características opticas: biaxico (-) $2V \approx 50^\circ$; birrefringencia baja (1er. orden); pleocroismo desde casi incoloro hasta verdoso; relieve moderado; orientación largo lento; extinción desde 13° hasta 18° ; exfoliación típica de piroxenos; cristales euhedrales.
- Cuarzo Anhedral, bordes suturados sin inclusiones, cristales limpios.
- Clorita Pleocroica desde verde pálido hasta amarillo pálido, anhedral, bordes suturados, se encuentra en aglomerados.

ANEXO II - GEOLOGIA, SISMOLOGIA Y MECANICA DE SUELOS

- Epidota Prismas subhedrales, bordes dentados pleocroico desde verde pálido hasta amarillo pálido.
- Biotita Anhedral hasta subhedral, color marrón, se encuentra asociada entre sí formando anillos y a su vez asociada con opacos. Los cristales subhedrales tienen pleocroismo desde marrón oscuro hasta pálido. Además tiene incluidos opacos bien pequeños.
- Opacos Magnetita anhedral, se presenta como agregados finogranulares.
- Fragmentos líticos xenolitos subredondeados de rocas volcánicas microporfídicas con microfenocristales de plagioclasa macrada, en la matriz hay abundantes opacos fino granulares. También hay biotita.
- Observaciones La sección delgada estudiada corresponde a una roca volcánica efusiva que ha sufrido una recristalización metamórfica. Evidencia de esto es la presencia de biotita agrupada en anillos dando una pseudo textura moteada.

ANEXO II - GEOLOGIA, SISMOLOGIA Y MECANICA DE SUELOS

MUESTRA Nº 18
LOCALIDAD Sitio de presa El Salado, margen derecha
del río Coca.
DESCRITA POR: E. Almeida

DESCRIPCION MACROSCOPICA

- Color Gris claro con moteados blancos
- Grado de alteración Roca fresca, presenta oxidación en los planos de junta
- Estructura Bandeamiento de tipo fluidal
- Textura Porfídica
- Minerales 10 X Plagioclasa, anfíbol, opacos
- Reacción HCL Ninguna

DESCRIPCION MICROSCOPICA

- Textura Porfirítica
- Cristalinidad Hipocristalina
- Granularidad El máximo tamaño de los fenocristales es de (3.3 x 0,9) mm, el promedio (0.6 x 0.2) mm. Los minerales de la matriz tienen 0,2 mm de diámetro en promedio.

- Microestructura

El bandeamiento fluidal es muy notable especialmente alrededor de los fenocristales los cuales son redondeados. Esta estructura es debida a bandas paralelas constituidas por mosaicos de minerales, alternando con bandas afaníticas (criptocristalinas?). No existe orientación mineralógica.

MINERALES:

- Plagioclasa

Debido a una incipiente alteración presenta un color café pálido no pleocroico. Fenocristales euhedrales hasta anhedrales, estos últimos son fragmentos de cristales. Tienen inclusiones orientadas de clorita.

- Cuarzo

Anhedral, extinción normal. Forma mosaicos, en los cuales está asociado con plagioclasa anhedral y no zonada.

- Hornblenda

Color verdosa, pleocroica hasta verde pálido. Euhedral, tamaño máximo (1.2 x 0.1)mm, el promedio (0.4 x 0.2)mm. No tiene maclas. Presenta inclusiones

- Clorita

alargadas de magnetita. La hornblenda está parcialmente cloritizada

Cristales muy pequeños de color verdoso distribuidos en toda la lámina e incluida en plagioclasa y hornblenda.

- Opacos

Magnetita granular de tamaño muy fino

- Apatito

Cristales euhedrales, los bordes los tiene ligeramente suturados. Cristales pequeños, el tamaño máximo es 0.02 mm de diámetro. Se encuentra principalmente en los mozaicos de cuarzo, ocasionalmente está incluida en hornblenda.

- Circón

Color amarillo oscuro no pleocroico redondeado, tamaño promedio 0.02 mm de diámetro asociado con cuarzo

- Epidota

Color amarillo pálido no pleocroico cristales subhedrales y euhedrales, tamaño promedio 0.03 mm, se encuentra principalmente formando agregados granulares y ocasionalmente dispersa en la lámina. También está incluida en hornblenda.

ANEXO II - GEOLOGIA, SISMOLOGIA Y MECANICA DE SUELOS

- Observación

La sección delgada estudiada corresponde a una roca ignea que ha experimentado un rápido enfriamiento.

La ausencia de vidrio volcánico sugiere que se trata de los bordes de un cuerpo intrusivo.

ANEXO II - GEOLOGIA, SISMOLOGIA Y MECANICA DE SUELOS

APENDICE IV

PROGRAMA DE PERFORACIONES GEOLOGICAS - SITIO SALADO

ANEXO II - GEOLOGIA, SISMOLOGIA Y MECANICA DE SUELOS

CANTIDADES DE PERFORACIONES PREVISTAS PARA EL APROVECHAMIENTO SALADO

PROGRAMA PRINCIPAL							
	PERFORACION	OBJETIVO	PROFUNDID. (m)	INCLIN. (°)	SUELO	GRAVA	ROCA
MARGEN DERECHA	SR-10	presa	150	inclina.	-	5	145
	SR-24	túnel	90	vertical	-	-	90
	SR-11	túnel	130	"	5	-	125
	SR-18	túnel	130	"	-	-	130
	SR-25	túnel	110	"	-	-	110
MARGEN IZQUIER- DA	SR-1	presa-vertedero	50	vertical	10	-	40
	SR-2	presa	40	"	-	10	30
	SR-3	presa	50	"	5	35	10
	SR-4	presa	70	"	5	35	30
	SR-5	presa	100	"	5	75	20
	SR-6	presa	100	"	5	75	20
	SR-7	presa	50	"	5	5	40
	SR-8	presa	70	"	15	-	55
	SR-9	presa	150	inclina.	-	-	150
	SR-13	presa	90	vertical	5	45	40
	SR-14	presa	100	"	5	80	15
	SR-16	presa	80	"	5	-	75
	SR-19	presa	70	"	5	5	60
	SR-21	presa	100	"	5	75	20
	SR-22	presa	100	"	5	75	20
	SR-26	vertedero	60	"	10	-	50
	SR-27	vertedero	80	"	10	-	70
	SR-28	vertedero	60	"	5	5	50
			SUBTOTAL:		110	525	1395
			TOTAL:		2.030		

PROGRAMA EVENTUAL							
MARGEN DERECHA	SR-12	presa	80	vertical	5	10	65
	SR-15	presa	60	"	10	-	50
	SR-20	presa	80	"	5	65	10
	SR-23	presa	50	"	5	35	10
MARGEN IZQUIER- DA	SR-17	túnel	130	"	5	-	125
			SUBTOTAL:		30	110	260
			TOTAL:		400		

ANEXO II - GEOLOGIA, SISMOLOGIA Y MECANICA DE SUELOS

APENDICE V

INFORMES DE LOS CONSULTORES JAMES SHERARD, HAROLD STUART
Y MINARD HALL

INFORME DE LOS DOCTORES JAMES L. SHERARD Y HAROLD STUART

J.L. Sherard
Consulting Engineer
P.O. Box 623
Devonshire 4, Bermuda
Teléfono (809) 292-3649

W.H. Stuart
Consulting Engineerin Geologist
430 N.W. Maywood Drive
Portland, Ore. 97210
Teléfono (503) 277-5125

6 de Mayo de 1977

CONSORCIO HIDROSERVICE/INTEGRAL
IDCO-ADEC-INGECONSULT
Quito, Ecuador

Asunto: Proyecto Hidroeléctrico Coca
Informe de Consultoría N° 1

Señores:

A solicitud de ustedes hemos pasado del 2 al 6 de Mayo de 1977, revisando la situación actual del Proyecto, actuando como un Grupo Consultivo del Consorcio Consultor. Nuestras observaciones y opiniones han sido discutidas en varias sesiones con vuestro personal y son resumidas en este Informe.

1. SITUACION DEL PROYECTO Y ACTIVIDADES DE LOS CONSULTORES

Ustedes están ocupados en el estudio de prefactibilidad de una serie de proyectos hidroeléctricos en el Río Coca, entre las cota 1800 y 600 m.

ANEXO II - GEOLOGIA, SISMOLOGIA Y MECANICA DE SUELOS

Después de un estudio de inventario, en el que sitios potenciales de presa fueron estudiados en los tributarios, han seleccionado tentativamente, cuatro sitios en el río principal y un túnel desde el sitio más aguas abajo hasta uno o más reservorios de compensación en los tributarios, de donde el agua sería conducida a una casa de máquinas subterránea.

Ustedes están trabajando con un cronograma que fijará los sitios de presa y alturas en Octubre de 1977.

Un considerable volumen de estudios geológicos, de ingeniería de suelos y geofísica ha sido realizado y continúa en desarrollo.

Levantamientos geofísicos fueron realizados en cuatro sitios pero perforaciones no han sido realizadas hasta la fecha.

Nosotros llegamos a Quito el 1º de Mayo y el día 2 nos encontramos en vuestra oficina, cuando vuestros ingenieros y geólogos describieron los proyectos y los asuntos nombrados en el Anexo Nº 1 el cual nos fue entregado con una agenda.

Las personas que asistieron a las sesiones y/o nos acompañaron en el viaje al campo, constan en la lista del Anexo Nº 2.

Un viaje al campo en los días 3 y 4 nos proporcionó la oportunidad de visitar los sitios seleccionados y observar las condiciones

ANEXO II - GEOLOGIA, SISMOLOGIA Y MECANICA DE SUELOS

geológicas generales del área de drenaje. El día 3 de Mayo visitamos las áreas de préstamo para los sitios de El Chaco y Balsas, observamos el sitio de Balsas desde la carretera, inspeccionamos el sitio de Malo y visitamos la Cascada de San Rafael, la misma que fue causada por un flujo de lava que bloqueó el Río Coca. El día 4 de Mayo, visitamos los sitios de Borja y El Chaco, utilizando helicóptero para la locomoción. Observamos los sitios de Balsas y Salado, la ruta del túnel desde Malo hasta el reservorio de compensación y el sitio de la Casa de Máquinas en el Codo Sinclair y la base del volcán, desde el aire. Durante el viaje de regreso a Quito por carro, paramos para mirar el área de préstamo para el sitio de Borja.

El 5 de Mayo, nos reunimos con vuestros ingenieros y geólogos para una discusión general de la presa y el diseño de las estructuras auxiliares, el túnel y el diseño de la casa de máquinas subterránea. En la tarde del día 5 y mañana del día 6 trabajamos en la elaboración de nuestro Informe.

Tuvimos una reunión con ustedes y vuestro cliente la tarde del día 6 de Mayo.

Vuestro personal ha sido colaborador y útil en darnos informaciones que ayudaron en la elaboración de este Informe.

ANEXO II - GEOLOGIA, SISMOLOGIA Y MECANICA DE SUELOS

2. RESUMEN - OPINIONES PRINCIPALES

Las ubicaciones generales para las presas de Borja, El Chaco y Balsas son adecuadas y pueden ser consideradas fijas.

Probablemente el sitio de Malo sea también aceptable pero algunas perforaciones son necesarias antes de que una decisión final sea tomada. Nosotros estamos seguros que una presa puede ser construida en algún sitio entre Malo y Salado.

En esta etapa de los estudios todas las presas deberían ser consideradas de escollera (o de gravas) a excepción de Balsas que podría también ser considerada como una presa de concreto.

La geología es muy compleja a lo largo de todo el río. En la etapa siguiente del diseño para un proyecto dado, serán necesarias investigaciones detalladas de subsuperficie.

3. GEOLOGIA Y SISMOLOGIA

La geología general del proyecto es caracterizada por rocas volcánicas, sedimentarias y metamórficas distribuidas de una manera compleja e imprevisible. Flujos de lava han llenado cañones y represado río en tiempos geológicos recientes como el ilustrado por el flujo que forma el lago cerca de las cabeceras (Río Papallacta), las cas-

ANEXO II - GEOLOGIA, SISMOLOGIA Y MECANICA DE SUELOS

cadas en las pendientes del Volcán Reventador y el Río Coca, aguas abajo del sitio de Malo (Cascada de San Rafael).

Lavas son encontradas como lentes, canales y en forma de dedos así como flujos dispersos.

Areniscas, lutitas, filitas, calizas, tobas, aglomerados, porfirita y andesita son observadas a lo largo del río y de la carretera.

Los sitios de presa están localizados en áreas de aglomerado, porfirita y andesita.

La andesita y la porfirita son usualmente rocas sanas mientras que los aglomerados varían de compactos, bien cementados a meteorizados y rocas blandas.

Escape de agua es asociado con los contactos en los flujos de roca en muchas partes del mundo pero no vimos evidencia de tales contactos y no hay razón para esperar serios problemas de fugas de agua en los sitios inspeccionados.

Hay evidencias de muchos deslizamientos y flujos de lodo a lo largo de los valles.

El curso del río ha sido, en algunos casos, influenciado por deslizamientos o flujos de lodo.

ANEXO II - GEOLOGIA, SISMOLOGIA Y MECANICA DE SUELOS

El mapa geológico preparado para el proyecto muestra la existencia de muchas fallas en el área de drenaje pero aparentemente, no se conoce fallas activas. No fueron identificadas fallas que presentarían riesgos a la presa y reservorios.

El Volcán Reventador potencialmente podrá producir lavas o cenizas (flujos de lodo) que podrían interferir con el curso normal del río.

No prevemos ningún problema de esa fuente, en la operación de los embalses propuestos con base a la información actualmente disponible; sin embargo, vuestros esfuerzos para obtener la información de los riesgos potenciales del Reventador deben continuar.

Vuestra lámina HS/IA-442-GM-004 muestra que el proyecto está en una área de actividad sísmica donde el registro más fuerte presenta una magnitud de 6,4. Eso no debería causar daños a presas adecuadamente diseñadas. Según el proyecto avance en etapas de estudio más detalladas, investigaciones para la detección de fallas activas deberán ser realizadas en el caso de necesitar algún diseño sísmico especial.

4. PRESAS DE MATERIALES SUELTOS - IDEAS GENERALES

4.1 Diseño Recomendado para la Etapa de Prefactibilidad

La extremadamente alta pluviosidad y la ausencia de una estación seca

ANEXO II - GEOLOGIA, SISMOLOGIA Y MECANICA DE SUELOS

es considerado como el factor dominante en las consideraciones para el diseño de presas de materiales sueltos. Por eso, todas las presas de materiales sueltos deberán ser construidas primariamente de materiales que puedan ser colocados en clima lluvioso, sean rocas o gravas permeables.

Ha ocurrido un considerable número de dificultades con la colocación de arenas y gravas fluviales bien graduadas en climas lluviosos. Cuando son bastante limpios y permeables pueden ser trabajados sin problemas. Sin embargo cuando presentan una pequeña cantidad de finos, son ocasionalmente muy impermeables para ser manipulados cuando están mojados. Para esta etapa de los estudios no deberíamos considerar las gravas como materiales adecuados a menos que pueda ser claramente demostrado que cantidades suficientes de material con menos de 5% en peso pasando en el tamiz Nº 200, estén disponibles

De los estudios realizados hasta la fecha, en el campo y laboratorio y de nuestras observaciones durante la visita al campo, concluimos que la mayoría de los sitios presenta grandes cantidades de suelos residuales y coluviales disponibles a pequeñas distancias de transporte. Ese material está comunmente a elevadas humedades naturales y presenta las características comunes de los suelos tropicales meteorizados (alto límite líquido y bajo índice plástico).

El suelo típico de ese tipo, aparentemente presenta propiedades tales como las siguientes:

ANEXO II - GEOLOGIA, SISMOLOGIA Y MECANICA DE SUELOS

humedad natural	70 a 130 %
humedad óptima - Proctor Normal	40 a 50 %
densidad máxima - Proctor Normal	1.0 a 1.3 T/m ³

Es aparente por consiguiente que no es posible utilizar los métodos convencionales de control del contenido de agua y de densidad con ese suelo. En clima seco sería imposible disminuir la humedad natural a un valor cualquiera cerca del rango convencional de la humedad de compactación.

Para esta etapa nosotros somos favorables al empleo de ese suelo en la forma de un núcleo delgado y vertical (simétrico) con filtros substanciales de arenas y gravas procesadas.

El material del núcleo sería colocado en su humedad natural en condición mojada y floja probablemente esparcido por un tractor leve de cadenas anchas

El paso de ese tractor esparciendo el material sería la única compactación necesaria.

La superficie de construcción sería demasiado floja para soportar grandes camiones. El material sería descargado en el borde del núcleo y esparcido por un tractor leve. El tráfico por sobre el núcleo debería ser realizado por caminos contruidos de rocas o gravas, las mismas que más tarde serían removidas.

ANEXO II - GEOLOGIA, SISMOLOGIA Y MECANICA DE SUELOS

El ancho del núcleo debería ser delgado, como 5 metros en el tope de la presa y 15 ó 20 metros en la base (Croquis Nº 1, anexo).

Aunque un tal diseño no tenga muchos precedentes en tiempos recientes, hay antecedentes substanciales en presas con núcleo de lodo comunmente usados en varias partes del mundo antes de 1920. También hay precedentes en Noruega y Suecia; en donde tal vez una docena de presas de escollera de alturas considerables, han sido construidas en los últimos 15 a 20 años con núcleos colocados esencialmente como el propuesto anteriormente, con el contenido de agua muy alto que la superficie no podría transitarse con camiones grandes, y sin más compactación que la provocada por el esparcimiento del material por un tractor leve. Otro precedente fue la presa de Scamonden, la más alta en Inglaterra cuando fue completada cerca de 15 años atrás. Es una presa de escollera con un núcleo central de arcilla muy húmedo y colocado esencialmente de la misma manera (tiene un puente móvil para permitir el paso de camiones por el núcleo).

El núcleo de arcilla floja y mojada tiene muy baja resistencia al corte.

Debería ser construido en la vertical y sobre el eje de la presa de manera que su baja resistencia tendría poca o ninguna influencia en la estabilidad (teóricamente no hay esfuerzo de corte en el plano vertical a través del eje de la presa).

ANEXO II - GEOLOGIA, SISMOLOGIA Y MECANICA DE SUELOS

En el análisis de estabilidad el núcleo debería ser considerado como no teniendo resistencia al corte y que actúa como un líquido pesado.

El ancho del núcleo debería ser construido delgado, primariamente para minimizar los problemas constructivos.

Detalles especiales deberían ser utilizados en el contacto con la roca en la fundación y estribos para aumentar la longitud del contacto núcleo-roca.

Un apreciable filtro de arena, procesado de las gravas y arenas fluviales, tal como 6 m de espesor sería utilizado aguas abajo del núcleo (zona 2). Una transición gruesa (zona 3) sería una mezcla bien graduada de arena y grava, desde 3 pulgadas hasta arena fina.

Por debajo del núcleo la excavación de fundación debería extenderse hasta la roca dura. Por debajo de los espaldones todos los suelos finamente granulares deberán ser excavados con el escollero siendo cementado sobre gravas fluviales en el fondo del valle y sobre roca alterada en las paredes del valle. Taludes laterales de 1,8: 1 son razonables para esta etapa de los estudios. No es necesario análisis de estabilidad.

Una presa de ese tipo es bien adaptada para resistir hasta el más fuerte terremoto. Los espaldones de escollera compactados no serán

ANEXO II - GEOLOGIA, SISMOLOGIA Y MECANICA DE SUELOS

deformados por ninguna acción de estremecimiento y algún escape de agua que podría ser provocado en el núcleo arcilloso sería por sí solo sanado y controlado seguramente por el filtro y transiciones.

4.2 Otros Tipos de Presas para los Estudios de Diseño Final

En etapas posteriores del proyecto otros tipos de presas capaces de ser construidas práctica y económicamente en la lluvia podrán ser considerados, incluyendo particularmente:

- 1) Una losa de hormigón reforzado, sobre el talud de aguas arriba
- 2) Núcleo de tierra de una área de préstamo especialmente localizado, el cual puede ser compactado por los métodos convencionales, en clima húmedo (tal como una roca meteorizada, blanda con humedad natural baja)
- 3) Métodos alternativos de construcción del núcleo impermeable como concreto asfáltico o una pantalla de cemento-bentonílico.

Nosotros estamos favorables en pensar que una presa de escollera con una losa de hormigón aguas arriba, la misma que está siendo construida con frecuencia para grandes presas en los últimos años, podría ser el diseño final preferido para algunos de los sitios. En efecto, hallamos que podrían ser usadas alternativamente como diseño de prefactibilidad, excepto que el diseño propuesto (croquis

ANEXO II - GEOLOGIA, SISMOLOGIA Y MECANICA DE SUELOS

Nº 1) es mejor adaptado para las fundaciones que no sean rocas duras y estamos seguros que podría ser usado en todos los sitios y probablemente tendrían un costo estimado ligeramente mayor por estar en el lado conservativo en esta etapa de los estudios.

4.3 Investigaciones Recomendadas para las Areas de Préstamo

Ustedes están actualmente ocupados en la exploración de potenciales áreas de préstamo con pozos, trincheras y barrenos ejecutando ensayos de laboratorio.

Un programa de investigación para esta etapa de los estudios ha sido propuesto tal como es ilustrado en el Anexo 3.

Estamos de acuerdo que el objetivo de los trabajos presentados es apropiado y conveniente para realizar una estimativa de las cantidades de los materiales disponibles a una distancia de transporte razonable en cada uno de los sitios.

Es evidente que la mayoría de los suelos finos disponibles para el núcleo impermeable es del tipo que cambia drásticamente e irreversiblemente sus propiedades por el secado en laboratorio. De esa manera los ensayos de caracterización (límites de Atterberg, granulometría por hidrómetro y compactación en laboratorio) deberán ser realizados en muestras en las cuales no se permite el secado antes del ensayo.

ANEXO II - GEOLOGIA, SISMOLOGIA Y MECANICA DE SUELOS

Para un pequeño porcentaje de muestras ensayadas las mismas deberían también ser secadas antes del ensayo, para que esas muestras ensayadas secadas y no secadas, posibiliten la comprensión de la influencia cuantitativa del secado.

Particularmente las muestras ensayadas para dispersión (tendencia a la erosión coloidal) no deberían ser secadas antes del ensayo.

5. DISCUSION DE LOS PROYECTOS INDIVIDUALES

5.1 Sitio Borja

Una presa de materiales sueltos es favorable para esta etapa de los estudios, principalmente porque las investigaciones sísmicas revelaron materiales de bajas velocidades en las partes más altas. Una presa en arco podrá ser considerada en las etapas futuras del proyecto desde que las perforaciones subsecuentes demuestren que la roca de baja velocidad presente condiciones adecuadas.

Profundidades recomendadas para la excavación de la fundación de presas de materiales sueltos (dimensiones verticales):

Por debajo del núcleo central	=	15 metros en promedio
Por debajo de los espaldones	=	10 metros en promedio

ANEXO II - GEOLOGIA, SISMOLOGIA Y MECANICA DE SUELOS

El eje presentado en el plano 061 es adecuado. El cerro justo aguas abajo del apoyo derecho aparenta ser favorable para un vertedero de superficie con rápida y deflector con una pequeña excavación en roca.

Para esta etapa de los estudios, una casa de máquinas y el túnel de aducción en la margen izquierda y los túneles de desvío en el lado derecho, parece razonable. El túnel de desvío debería ser revestido. Eso es válido para todos los proyectos individuales del sistema.

Ustedes están estudiando el empleo de las gravas de la terraza aguas abajo en el lado derecho para los espaldones principales de la presa. Esto es satisfactorio a condición que ustedes puedan establecer una cantidad suficiente con menos de 5% de finos (más finos que el tamiz Nº 200). También para usar esa área de préstamo es necesario que ella no sea inundada por el embalse de El Chaco. Si hay alguna duda sobre una de esas condiciones, sería adecuado considerar rocas de canteras para los espaldones.

Material para el núcleo puede ser obtenido de la remoción de la capa superior a la gravas del área de préstamo aguas abajo o de los suelos residuales en varios locales (las paredes del valle aguas abajo del eje, la parte plana superior al lado izquierdo de la presa, etc...). Para esta etapa del Proyecto recomendamos un núcleo central delgado, colocado húmedo, con filtros procesados espesos como el discutido con más detalles en la Sección Nº 4.

Discutimos la posibilidad de que un esquema con una presa de concreto podría ser menos costosa que una de materiales sueltos, en este sitio, particularmente debido al problema de control del río durante la construcción (cerca de $1700 \text{ m}^3/\text{s}$). Estamos de acuerdo que eso es posible pero la diferencia de costos no sería grande. Por esta razón y porque estamos seguros que una presa de materiales sueltos pueda ser construida en este sitio, en esta etapa de los estudios creemos que no es necesario considerar una alternativa de presa de hormigón.

5.2 Sitio de El Chaco

Los afloramientos en el cañón indican andesita a nivel del río y por una altura de aproximadamente $1/4$ de la distancia del tope de la pared del cañón, cubierto por aglomerado. El apoyo izquierdo es una nariz limitada por filita en el lado de aguas arriba.

La exploración geofísica confirmó la presencia de materiales de relativamente bajas velocidades en los 75 metros superiores, en los apoyos y debajo de las terrazas.

La altura de la presa más alta propuesta se extendería 70 m sobre las terrazas de los lados derecho e izquierdo, con la presa de materiales sueltos incorporando, en el lado izquierdo, la nariz del cerro. Debido a la baja velocidad de la roca en los apoyos y debajo de las terrazas y por la aparentemente muy complicada geología

ANEXO II - GEOLOGIA, SISMOLOGIA Y MECANICA DE SUELOS

con posibles sorpresas, creemos que una presa de materiales sueltos es el tipo más satisfactorio para este sitio. Para los propósitos de estimar los volúmenes sugerimos excavaciones de la fundación del orden de 10 metros por debajo del núcleo y 5 m por debajo de los espaldones.

Hay un deslizamiento en la terraza aguas arriba del eje, del lado izquierdo y un gran deslizamiento aguas arriba de la nariz del cerro ha resultado en aumento de la pendiente del talud.

Una estructura satisfactoria puede ser construida en este sitio; sin embargo, estudios futuros podrán necesitarse para un sitio a corta distancia aguas abajo.

Las localizaciones del vertedero, toma de agua, casa de máquinas y del túnel de desvío, ilustrado en el dibujo 063, son satisfactorias. Los detalles son aceptables para esta etapa de los estudios.

Roca para los espaldones podrá ser obtenida de una cantera en la margen derecha, cerca de 1.000m aguas abajo del sitio y consiste de porfirita sana o andesita.

Las áreas de préstamo que están siendo estudiadas para el material del núcleo, están localizadas cerca de 1.600m aguas abajo en la margen izquierda (zona 1) y sobre la carretera por encima de la presa (zona 2). Muchas otras fuentes potenciales son disponibles.

ANEXO II - GEOLOGIA, SISMOLOGIA Y MECANICA DE SUELOS

Como discutimos en la Sección 4, recomendamos un núcleo central delgado, colocado mojado, con espesos filtros procesados, para esta etapa de los estudios.

Los materiales de fundación aparecen compactos y no se esperan problemas anormales de percolación.

5.3 Sitio de Balsas

La información disponible indica rocas porfiríticas sanas en ambos los apoyos y una cobertura de 10-15 m en el lecho del río.

Las condiciones de fundación aparentan ser satisfactorias para una presa de materiales sueltos, concreto en arco o en concreto gravedad. El valle, como se encuentra indicado en el plano 064 tiene 400 m de ancho al nivel del río y 800 m en el tope propuesto de la presa en la cota 1484. Roca para una presa de escollera o para agregado del hormigón puede ser obtenida del sustrato rocoso arriba del apoyo derecho. Comprendemos que otros sitios en áreas inmediatas, con las mismas, aparentemente, buenas condiciones de fundación, podrán demostrar ser más económicas. Acreditamos que el tipo de presa más económico debería ser seleccionado con base a comparaciones de costo de alternativas de presas de escollera y de concreto.

El criterio expuesto en la Sección 4 debería ser empleado para la disposición general y estimación de costos de una presa de escollera o de gravas.

5.4 Sitio Malo

El sitio Malo presenta 2 problemas principales: (1) hay evidentemente una garganta rellena con suelo en la fundación (valle relleno) a una profundidad de 150m y (2) hay riesgos de flujos de lodo provenientes del cañón del río Malo o de cerca de las pendientes del Volcán Reventador hacia el reservorio o sobre las obras durante la construcción.

Solamente esta semana una serie suplementaria de medidas de electroresistividad fueron ejecutadas en la fundación de la presa, evidenciando que la mayoría de material del valle muerto tiene la alta resistividad de los materiales granulares (arena, gravas y bloques) con apenas indicaciones de delgadas capas de baja resistividad (limos y arcillas). Esto es favorable.

Creemos que es probable que estudios más detallados dejarán como conclusión que una presa con la altura propuesta (cerca de 125 m) puede ser seguramente construida en este sitio. Para tomarse una decisión es necesario ejecutar perforaciones exploratorias en la fundación para asegurar que los 150m del valle muerto no contienen capas con espesores apreciables de arenas flojas (las mismas que podrán licuar durante las vibraciones de un terremoto) o arcillas o limos muy flojos que no soportarían el peso de una presa relativamente alta.

El diseño final de una presa en este sitio requerirá substancialmente

ANEXO II - GEOLOGIA, SISMOLOGIA Y MECANICA DE SUELOS

muchas más exploraciones y análisis de lo que cualquiera de las otras presas. El costo del tratamiento de la fundación será, sin duda, substancial.

Recomendamos que las siguientes actividades sean realizadas antes de tomarse una decisión con relación al sitio Malo.

- 1) Perforar por lo menos dos sondeos exploratorios en el valle muerto, tal vez por debajo de dos puntos intermedios de los espaldones aguas arriba y aguas abajo. Llegar con las perforaciones hasta la roca. Siempre que sea posible emplear los métodos estándar de exploración de suelos de fundación, utilizando el muestreador de penetración estándar a cada 1,5 m de profundidad. Perforar el sondeo con agua utilizando revestimiento o con lodo, tal vez sin revestimiento. Los perforadores deberán estar preparados para perforar a través de bloques y quizá empezar con un diámetro mayor en el tope y reducir el tamaño según sea necesario después de perforar los bloques.
- 2) Realizar varias líneas de sísmica de refracción en el sitio de Salado, con medidas complementarias de electroresistividad.
- 3) Ejecutar investigaciones sísmicas de refracción (y sondeos eléctricos suplementarios) a través del río en dos locales intermedios entre Malo y Salado.

Las investigaciones geofísicas de los Nos. (2) y (3) arriba, permitirán

conocer la extensión y espesor del valle muerto aguas arriba del sitio de Malo. De un modo concebible el espesor debería ser mucho menor a alguna distancia aguas arriba del Malo. También debería ser esperado que el suelo por debajo del lecho del río sea más uniforme y probablemente más semejante a gravas densas, en sitios aguas arriba del Malo debido a que aparentemente no hay flujos de lodo entrando en el valle fluvial. Es posible que un sitio intermedio entre Malo y Salado sea más aconsejable que Malo pero teniendo un embalse mayor que el Salado.

Un resumen de nuestras opiniones sobre un sitio de presa en esta área, en general, es la siguiente:

- 1) Probablemente se concluirá después de muchos estudios que una presa de la altura propuesta puede ser construida en el sitio Malo. Eso estará basado en las conclusiones que la peor acción de un flujo de lodo en potencial puede ser soportado o acomodado y que la fundación es adecuada.
- 2) En el sentido de tomar una decisión final sobre la fundación de la presa del Malo, por lo menos 2 perforaciones deberían ser realizadas.
- 3) El tratamiento de la fundación del sitio de Malo puede ser substancial (remover suelos inadecuados y controlar percolación)

ANEXO II - GEOLOGIA, SISMOLOGIA Y MECANICA DE SUELOS

4) No tenemos dudas que un reservorio con la elevación deseada (cota 1366) puede ser construido con una presa en El Salado (parte 5.5) o en algún sitio más aguas abajo en el río entre Salado y Malo.

Cualquier presa en esa área debería probablemente ser construida primariamente con gravas del río, siempre que existan en grandes cantidades en esa área y que puedan ser obtenidas más económicamente que rocas de cantera. La presa debería ser una presa de materiales sueltos, similar en concepción al tipo de presa recomendado en la Sección 4, modificada para acomodarse al tratamiento necesario de la fundación.

Para esta presa, en el diseño final, una posible alternativa para estudio sería un núcleo espeso con material de los flujos de lodo, los mismos que posiblemente podrían demostrar ser adecuados para su colocación en clima lluvioso.

En la presa de Swift Creek, en Washington (160 m de altura, homogénea) fue encontrado que flujos de lodo volcánico tenían propiedades peculiares, permitiendo ser compactados con un compactador de 50 ton, con llantas de caucho, así mismo con lluvia.

Para una presa en el sitio de Malo, acreditamos que la disposición general del vertedero, de los túneles de desvío y de la casa de máquinas, mostrada en el dibujo 065-066 es adecuada para esta etapa

ANEXO II - GEOLOGIA, SISMOLOGIA Y MECANICA DE SUELOS

de los estudios. Particularmente estamos de acuerdo con el cruce de los túneles de desvío y aducción en el esquema del plano 065.

5.5 Sitio Salado (Alternativa de Malo)

Este sitio es el único en que el canal del río está confinado a una relativamente estrecha sección entre el apoyo derecho y una loma rocosa que se alza 80 m \pm por encima de la planicie de inundación con una cresta baja extendiéndose desde el morro hasta el apoyo izquierdo. La roca en el apoyo derecho y en la loma es porfirita. Ninguna información es disponible relacionada con el carácter del material en la cresta baja que se dirige hacia el apoyo izquierdo ni hay pruebas de que la loma rocosa esté "in situ".

Asumiendo que la roca esté "in situ" y que fundaciones adecuadas son existentes en el área de la cresta baja, la combinación de una presa de concreto gravedad y una de materiales sueltos, como se indica en el plano 069, usando la roca de la loma como fundación para el vertedero sin escurrimiento por sobre la presa de gravedad es satisfactorio si la roca presenta o excede los requerimientos de estabilidad de la presa. Estudios geofísicos deberían ser realizados en la parte baja entre la toma y la margen izquierda

Perforaciones serán necesarias para confirmar la situación "in situ" de la loma rocosa.

ANEXO II - GEOLOGIA, SISMOLOGIA Y MECANICA DE SUELOS

En virtud de la gran cantidad de gravas en el lecho del río, éstas deberán ser usadas en una presa de materiales sueltos.

6. MATERIALES PARA CONCRETO

Materiales disponibles para agregado de hormigón consisten en gravas fluviales, terrazas de gravas y rocas "in situ" como andesita y porfiritas. Ensayos están en ejecución para la determinación de la resistencia a la abrasión y reactividad potencial (método químico). Los resultados de esos ensayos no están disponibles todavía pero se admite que materiales adecuados serán encontrados para ejecutarse concretos resistentes.

Las gravas fluviales probablemente demostrará ser más económicas y fáciles de usar si hay suficiente volumen disponible.

Las gravas de las terrazas parecen ser meteorizadas y arcillosas requiriendo más procesamiento para eliminar partículas blandas y finas. Procesamiento de roca debería ser también más costoso que las gravas.

La ceniza volcánica encontrada en áreas cercanas puede ser una fuente de material cementante pozolánico que podría substituir una parte del cemento Portland y evitar la reacción álcali-agregado.

Los ensayos en ejecución son considerados adecuados para los estudios

de prefactibilidad. Para los propósitos de estimación de costos del concreto en esta etapa, recomiéndase que un cemento Portland con bajo contenido de álcalis sea usado como agente cementante.

7. CASA DE MAQUINAS EN EL CODO SINCLAIR Y TUNELES

El túnel de aducción desde el embalse del Malo hasta el reservorio del Compensador A tiene 18 km de largo y sería conducido a través de areniscas y rocas volcánicas con una cobertura de 250-500 m indicado en vuestro plano HS/IA-442-GM-045. Una falla está indicada entre los km 12 y 13. Una observación visual del trazado del túnel y del sitio de casa de máquinas, desde el helicóptero, indica roca competente en el área.

La arenisca forma paredes casi verticales con alturas de 100 m aproximadamente y las rocas volcánicas (andesitas, tobas, riolitas) forman fuertes pendientes.

La complejidad de la geología, observada en la cuenca hidrográfica, indica que lentes o capas intercaladas de material menos competente debe ser esperada y que las estimativas para la excavación del túnel debería incluir soportes temporales en cerca de 30% del largo.

Pernos de anclaje y malla o concreto lanzado y malla deberían ser previstos para zonas de fracturación elevada o de roca cizallada en un 40% del largo del túnel.

ANEXO II - GEOLOGIA, SISMOLOGIA Y MECANICA DE SUELOS

Suponiendo que la bocatoma, la tubería de presión y el complejo de la casa de máquinas fueren colocados y orientados durante el diseño detallado de manera a sacar ventaja de la roca más competente y de la estructura de la roca, creemos que la disposición de las obras, como se indica en vuestro plano HS/IA-442-GM-068 es satisfactoria para las estimativas a ser utilizadas en los estudios de prefactibilidad. Un programa continuo y sistemático de pernos de anclaje debería ser incluido en las estimativas con el objeto de mantener la integridad de las paredes y techo de la caverna de la casa de máquinas inmediatamente después de la exposición durante la excavación. Para los propósitos de estimación recomendamos un espaciamiento de 1,5 m y pernos con 8 m de largo para el soporte del techo y 2,5 m de espaciamiento con pernos de 10-20 m de largo para las paredes. Es probable que el revestimiento de concreto armado pueda ser eliminado durante el diseño final.

Las presas para los embalses de compensador deberían ser como las descritas para el río principal (sección 4).

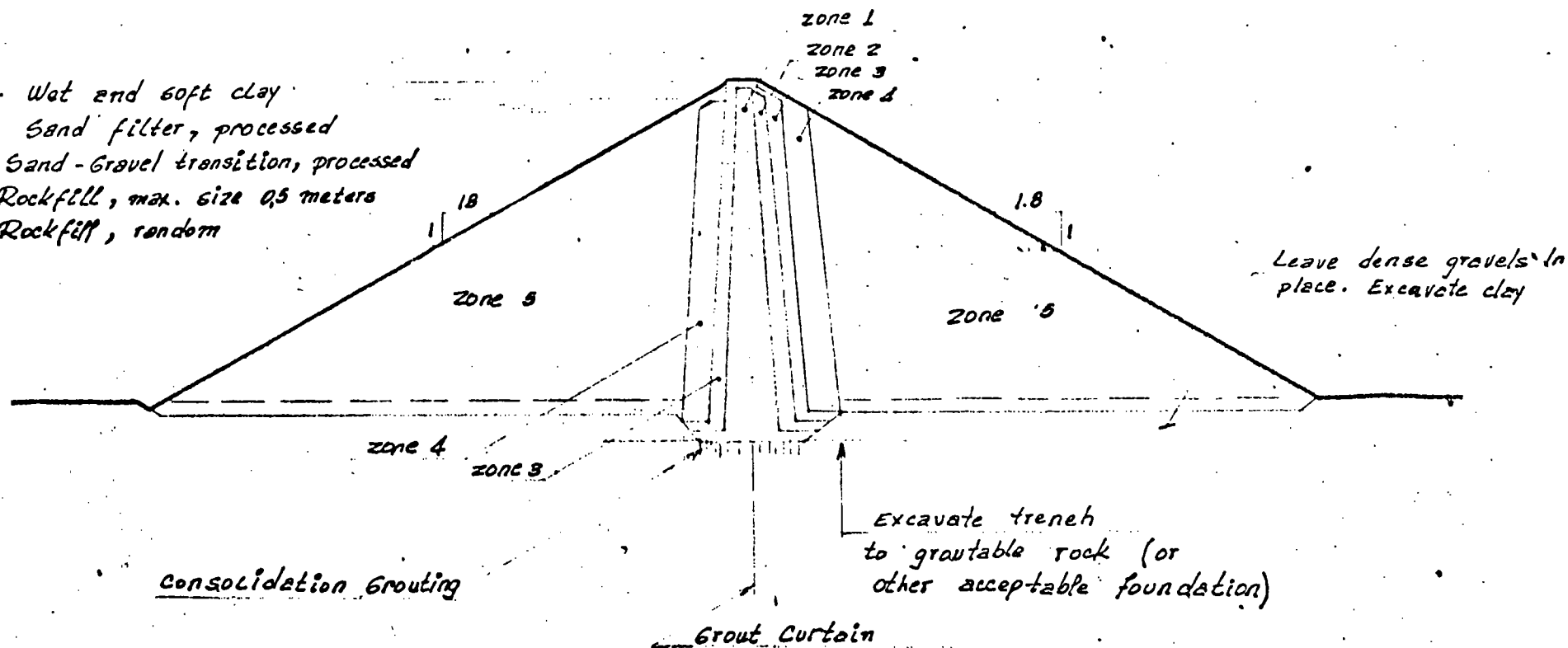
Los registros de eventos sísmológicos en el área del Proyecto no indican la necesidad de consideraciones sísmicas especiales.

Atentamente,

J.L. Sherard.

W.H. Stuart.

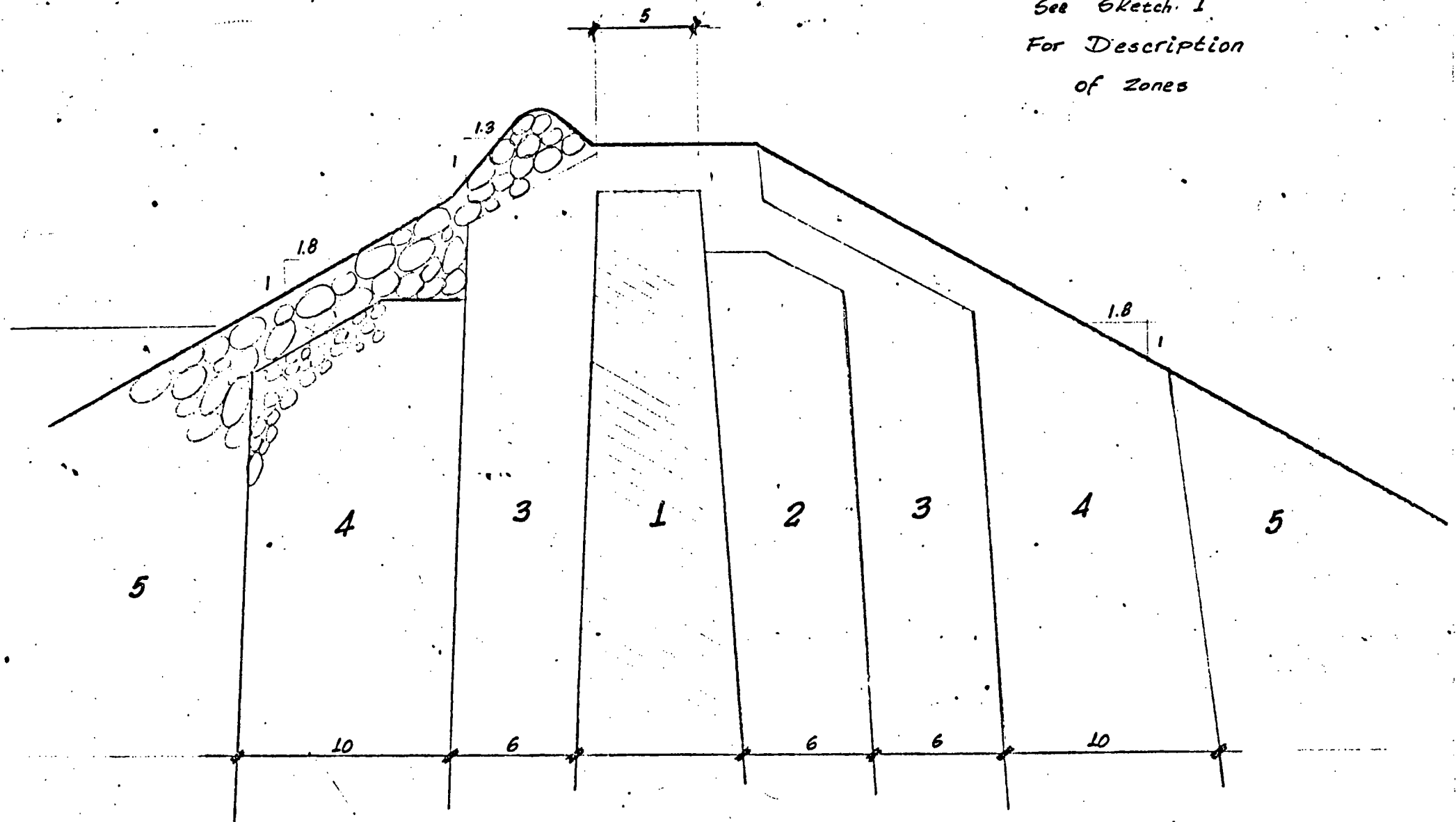
- Zone 1 - Wet and soft clay
- Zone 2 - Sand filter, processed
- Zone 3 - Sand-Gravel transition, processed
- Zone 4 - Rockfill, max. size 0.5 meters
- Zone 5 - Rockfill, random



PRE-FEASIBILITY STUDY DESIGN FOR ROCKFILL
DAM ADAPTED FOR WET WEATHER CONSTRUCTION
SUGGESTED CONCEPT FOR DESIGNERS STUDY
Scale: 1:250

Sketch 1

See Sketch 1
For Description
of Zones



DETAIL - TOP OF DAM

ANEXO II - GEOLOGIA, SISMOLOGIA Y MECANICA DE SUELOS

ANEXO Nº 1

Lista de documentos suministrados a los Consultores Sherard y Stuart durante Mayo 2 al 6, 1977

1. Juego de planos del Consorcio indicando el esquema y la disposición de las obras en varios sitios. Planos 042, 061 hasta 074.
2. Juego de planos del Consorcio mostrando Mapas Geológicos. Planos GM-007 hasta 016.
3. Plano GM-004 del Consorcio - Mapa Sismológico General y GM-018 y 019 sobre terremotos.
4. Borradores de los planos indicativos de los resultados de las investigaciones geofísicas en los sitios de Borja, Chaco y Malo.
5. Resultados de los ensayos de suelos realizados hasta la fecha sobre muestras de pozos en áreas de préstamo en Borja, Chaco, Balsas, Salado y Malo.
6. Borrador de los planos de las áreas de préstamo de los sitios de Borja, Chaco, Balsas y Malo.

ANEXO II - GEOLOGIA, SISMOLOGIA Y MECANICA DE SUELOS

7. Planos del Consorcio indicando las disposiciones de las obras para los túneles, reservorios de compensación y casa de máquinas subterráneas, aguas abajo del sitio de Malo. Planos GM-045, 046 y 047.
8. Otros datos misceláneos.

ANEXO II - GEOLOGIA, SISMOLOGIA Y MECANICA DE SUELOS

ANEXO Nº 2

PARTICIPANTES

CONSORCIO CONSULTOR

Ghazi Moammar

Minard Hall

Hamilton Costa

Juan Sevilla

Jorge Arancibia

Gabor Gelencser

Wander Camargo

René Zalszupin

Rodrigo Calpa

Jorge Checa

Hans Samuelsson

Diego Ortiz

Sigmund Schwarz

Boyd Bush

INECEL

Germán Nieto

Aníbal Avila

Iván Núñez

Jaime Galárraga

Jaime Salvador

INFORME DEL DR. MINARD HALL

"POSIBLES PELIGROS AL SITIO DE PRESA DE MALO POR LA ACTIVIDAD
RELACIONADA AL VOLCAN REVENTADOR"

1. INTRODUCCION

El Volcán Reventador es uno de los más continuamente activos volcanes en el mundo. Este Volcán está en el rincón SW de una gran caldera, con aproximadamente 4 km de diámetro, abierta solamente en su lado Este. Este último aspecto es importante por significar que el agua de drenaje y los más devastadores fenómenos volcánicos son dirigidos pendiente abajo hacia el Este y en dirección al Río Quijos. Desde 1541 por lo menos 25 erupciones pueden ser atribuidas al Reventador. Este Volcán está frecuentemente en uno de sus ciclos más activos y es evidenciado por el hecho que el ha tenido siete erupciones en los últimos 22 años. No hay razón para creer que esa actividad terminará en un futuro cercano.

El Proyecto Coca tiene propuesto construir una gran presa en el sitio de Malo, aproximadamente 6 km al sur de la caldera.

Ese sitio de presa descansa ligeramente aguas arriba de potentes depósitos de bloques volcánicos producidos por numerosas erupciones del Reventador. Cualquier estudio del eje de presa propuesto en Malo deberá considerar los efectos potenciales de futuras erupciones de ese Volcán a la presa y embalse.

2. PRINCIPALES ZONAS DE PELIGRO

Aunque una grande área de peligros potenciales exista alrededor del Volcán y caldera, solamente tres zonas en el Proyecto podrían ser afectadas por fenómenos volcánicos. Ellas son la zona del río Malo, la zona inmediatamente abajo del sitio de presa y el Codo Sinclair. Sin embargo, debería ser considerado que cualquier flujo grande de lodo o de lava, el suficiente para salir de la caldera, podría interrumpir la comunicación y actividades de construcción en el área aguas abajo del eje de presa por varias semanas (ver croquis)

a) Zona del río Malo

El río Malo se une con el río Coca aproximadamente 400 m aguas arriba del eje de presa propuesto. Ese río relativamente pequeño tiene muchos tributarios que nacen en el flanco sur de la caldera. Por otro lado la mayoría de los tributarios del noreste podrían tener su origen en la caldera (y por lo tanto podrían cargar flujos de lodo volcánico hacia el sistema del Malo).

Flujos recientes de lodo han sido producidos en ese drenaje y por lo menos uno con una magnitud de cerca de 5 millones de m³, recientemente llegó al río Coca, represando temporalmente ese río. Los materiales para esos flujos de lodo son principalmente rocas volcánicas y cenizas blandas del flanco sur de la caldera, a pesar que fragmentos de rocas

de formaciones más viejas son también encontrados. Los flujos de lodo de ese drenaje no son producidos por la actividad volcánica pero si por fuertes lluvias que ponen en suspensión materiales volcánicos sueltos, tales como cenizas. Debería ser destacado que el flujo de lodo antes mencionado debe ser bastante joven ya que no está cubierto por gravas fluviales, su vegetación es distintamente más joven que las de muchas islas en el río Coca (ver fotos aéreas) y que fragmentos de madera en la masa no están descompuestos a pesar del clima tropical.

Que tales deslizamientos y flujos de lodo ocurrirán nuevamente en ese drenaje, parece seguro. Una evaluación de esos fenómenos y sus posibles efectos al reservorio y presa es necesario.

b) Zona inmediatamente aguas abajo del sitio de presa

Cerca de 1 km aguas abajo del eje de presa hay un gran abanico de escombros, compuesto por material volcánico traído del actual Volcán activo. Varios sistemas distintos de drenaje están desarrollados en ese abanico. Sin embargo el tipo y orígenes de esos drenajes no son todavía precisamente conocidos debido a la falta de mapas y fotos aéreas. Es imperativo mapear exactamente cada sistema de drenaje de la caldera y los conos de escombros ya que ellos controlarán las futuras rutas de los flujos de lodo y lava. Debe ser también destacado que el drenaje de la caldera más al sureste (el canal fue seguido por

el flujo de lava de 1.976) puede ser el mismo que se une al río Coca cerca de 1 1/2 km aguas abajo del eje de presa, el cual podría, potencialmente, dirigir flujos de lodo hacia el lado de aguas abajo de la presa.

Esa posibilidad debería ser investigada y evaluada.

El abanico es constituido principalmente de grandes depósitos de escombros y lodo, algunas lavas y muy poco material piroclástico, depositados durante el crecimiento del joven Volcán, probablemente durante varios miles de años.

Que algunos de esos flujos de lodo fueron enormes y extensos y probablemente represaron el río Coca por cortos períodos es indicado por los depósitos abundantes de ese mismo material a través del río Coca.

Intensa actividad de flujos de lodo relacionadas al crecimiento del cono fue común en el pasado geológico reciente; esa actividad debería continuar ya que el Volcán por si sólo continúa su actividad y crecimiento. Dadas esas condiciones, flujos de lodo deberían ser esperados en cualquier sitio de depósitos de escombros, durante y después de las erupciones. Eso tendría el efecto de interrumpir las comunicaciones, actividades de construcción y suprimiento por varias semanas.

ANEXO II - GEOLOGIA, SISMOLOGIA Y MECANICA DE SUELOS

Flujos de lodo muy grandes presentan una capacidad potencial de represar el río Coca e inundar el lado de aguas abajo de la presa.

Un gran flujo de lava podría producir el mismo efecto, aunque la posibilidad es mucho menor que la de un gran flujo de lodo.

Un estudio de esos flujos de lodo, especialmente en lo que respecta a sus edades, sus frecuencias y volúmenes, es esencial para la evaluación del peligro potencial a la presa.

c) Codo Sinclair

Un gran flujo de lodo o la rotura de una presa natural, formada por un gran flujo de lodo que está bloqueando el río Coca, podría enviar una crecida hacia abajo del río Coca la cual posiblemente afectaría el sitio del Codo Sinclair, 50 Km aguas abajo. Flujos de lodo devastadores en el pasado, del Volcán Cotopaxi por ejemplo viajaron centenares de kilómetros en horas.

Esa posibilidad debería ser considerada y evaluada.

3. PROBLEMAS GENERALES RELACIONADOS A LAS ERUPCIONES DEL REVENTADOR

Cuatro tipos principales de fenómenos volcánicos pueden ser empleados acompañando cualquier erupción del Reventador. Ellos son: caída de cenizas, flujos piroclásticos (nube ardiente), flujos de lava y flujos de lodo (lahares).

ANEXO II - GEOLOGIA, SISMOLOGIA Y MECANICA DE SUELOS

Caída de cenizas, producidas por el asentamiento de cenizas de la nube de erupción, han ocurrido generalmente en el lado oeste del Volcán, aunque caída de cenizas puedan ser esperadas en cualquier local en las cercanías inmediatas. La ceniza presenta problemas a la vida humana y animal, motores y máquinas y al abastecimiento de agua.

Debería ser recordado que la presencia de abundante ceniza aumenta grandemente la probabilidad de ocurrir flujos de lodo.

Aunque flujos piroclásticos fueron observados en la erupción de 1.976, considérase improbable que tales flujos sean suficientemente grandes como para extenderse y llegar al río Coca.

Numerosos flujos de lava han descendido del cono en los años recientes. Algunos de esos han viajado hacia el este por 5 a 7 km, o sea, mitad de la distancia al río Coca. Es casi seguro que en los próximos cien años, flujos de lava llegarán al río e interrumpirán las comunicaciones en el área.

Flujos de lodo, un fenómeno común en el Reventador, son el principal peligro en el área. El mapa esquemático indica las rutas de los flujos de lodo pasados; esas mismas rutas serán seguidas en el futuro.

Esos acontecimientos volcánicos son mejor visualizados y comprendidos

ANEXO II - GEOLOGIA, SISMOLOGIA Y MECANICA DE SUELOS

en un mapa de los peligros volcánicos, el cual debería enseñar las áreas que serán afectadas por cada uno de los tipos de flujo en una erupción. Tal mapa sería importante para el planeamiento futuro. Un mapa de los peligros del Cotopaxi está siendo publicado. Debe recomendarse en forma especial que un plano como ese sea preparado para El Reventador.

4. RECOMENDACIONES

Las siguientes recomendaciones parecen ser imperativas:

- a) Determinar precisamente el drenaje de la caldera, los conos de deyección y el río Malo a través de mapeo o fotografías aéreas. Un reconocimiento por helicóptero es esencial para la comprensión de los drenajes y áreas potenciales como fuente de flujos de lodo.
- b) Preparar un mapa de los peligros del Volcán, que debería indicar las rutas probables de los flujos de lava, flujos de lodo, flujos piroclásticos y distribución de la caída de cenizas.
- c) Con base en el anterior, evalúase los efectos de flujos de lodo hipotéticos para los distintos sistemas de drenaje. Evaluar el efecto de la construcción de presas de control y diques sumersos para reducir la velocidad y desviar los flujos de lodo.

ANEXO II - GEOLOGIA, SISMOLOGIA Y MECANICA DE SUELOS

- d) Realizar un chequeo de campo sobre la cantidad de material volcánico suelto (especialmente ceniza) en las cabeceras del río Malo. Una abundancia de tales materiales aumentaría grandemente la probabilidad de existir futuros flujos de lodo en ese drenaje.
- e) La instalación de un sismógrafo de registro continuo facilitaría grandemente nuestro conocimiento de los terremotos tectónicos y volcánicos en el área. Además, se tendrá la posibilidad de predicción de una erupción del Reventador días o semanas antes de la erupción, la cual podría ser crítica, para evacuar maquinaria y personal de la zona afectada.

Tal instrumentación está actualmente siendo instalada en el Cotopaxi con ese propósito.

5. CONCLUSION

Debido a que el sitio de presa del Malo está localizado aguas arriba de las principales rutas de los flujos de lodo pasados el sitio no debería ser directamente afectado por los flujos de lodo o de lava del Reventador. Otros fenómenos volcánicos tales como cenizas, podrían ser un fastidio en una erupción pero no deberá poner en peligro el Proyecto.

Sin embargo el sitio de presa es vulnerable a flujos de lodo que ocasionalmente bajen del drenaje del río Malo. Eso no será probablemente

ANEXO II - GEOLOGIA, SISMOLOGIA Y MECANICA DE SUELOS

muy grande y algunas estructuras de tierra podrán ser construídas para minimizar sus efectos.

El área directamente al este del Volcán, incluyendo el campamento de INECEL es altamente vulnerable a los futuros flujos de lodo y flujos de lava.