

ESCUELA DE INGENIERIA DEL
PROYECTO HIDROELECTRICO
COCA, PROVINCIA DEL MARO

CIENCIAS NATURALES

GEOLOGIA Y GEOTECNIA DEL PROYECTO HIDROELECTRICO COCA, PROVINCIA DEL NAPO

Ernesto Décker Coello

Resumen de Tesis Doctoral.

1.0 INTRODUCCION

La presente Tesis de Grado: **GEOLOGIA Y GEOTECNIA** del Proyecto Hidroeléctrico Coca, Provincia del Napo, es presentada previa a la investidura de Doctor en Geología de la Universidad Estatal de Guayaquil, Facultad de Ciencias Naturales, Escuela de Geología y trata de los estudios realizados por el Instituto Ecuatoriano de Electrificación para el aprovechamiento Hidroeléctrico de la Cuenca del río Quijos-Coca. Dichos estudios los viene realizando INECEL a partir del año 1964 y se intensificaron, a nivel de Geología, en 1974, año desde el cual el autor de la presente tesis tuvo una participación activa.

1.1 PROPOSITO DEL ESTUDIO

Las estribaciones Orientales de la Cordillera de los Andes, han sido escasamente estudiadas. Esto se debe a la poca iniciativa demostrada por parte de las instituciones gubernamentales y privadas en establecer un inventario de recursos en esas zonas. INECEL dentro de un programa de trabajos ha puesto mucho interés en el aprovechamiento de

los Recursos Hidroeléctricos en la Cuenca del Río Quijos-Coca. Con la presente Tesis de Grado, el Autor, quien participó de las varias etapas de los estudios, pretende descubrir la Geología Regional del Proyecto, Geología local del sitio propuesto para el aprovechamiento El Salado y un estudio de los materiales de construcción.

1.2 GEOGRAFIA Y FISIOGRAFIA

1.2.1 Localización

El área de estudio se encuentra situada entre las estribaciones orientales de la Cordillera de Guagrahurco, abarcando la cuenca del río Quijos-Coca entre Papallacta y el Codo Sinclair, esto es en el noroccidente del Oriente Ecuatoriano (fig. 1) entre las siguientes coordenadas.

Longitud: 77°25' y 78°15'W.

Latitud: 00°03' y 00°30'S.

1.2.2 Poblaciones y Accesos

El área estudiada está atravesada por la carretera Quito Lago Agrío, la cual en Baeza empalma con la carretera que se dirige hacia Tena, capital de la provincia del Napo, y a su vez comunica con Puyo, capital de la Provincia de Pastaza. El Puyo está unido al interior de la República por un ramal de la carretera Panamericana que sale de Ambato.

En el área de estudio existen picas temporales y caminos de herradura. El paso de los ríos se lo hace en algunos casos mediante puentes colgantes, estos existen en las poblaciones de Cuyuja, Baeza, Borja, El Chaco, Díaz de Pineda todos sobre el río Quijos. Lo usual es utilizar tarabitas y cables de polea. Existen helipuertos de CEPE-TEXACO en las estaciones de bombeo de las poblaciones de Papallacta, Baeza, El Chaco, Salado y Reventador, y una pista de tierra para el aterrizaje de avionetas en la población de El Chaco.

Las personas que viven en la zona son colonos rurales, y se encuentran distribuidas indistintamente principalmente a lo largo de la carretera.

Las principales actividades humanas son la agricultura y ganadería. Existen plantaciones de maíz, caña de azúcar, naranjillas en las partes bajas, y en las zonas altas papas, habas y mellocos.

El principal producto agrícola fue hasta hace poco la naranjilla, la misma que actualmente en la región casi ha desaparecido.

Los pobladores de Oyacachi se dedican fundamentalmente a la artesanía en la que se refiere al tallado de madera.

1.2.3 Clima y Vegetación

Según Terán (1975), el clima del área de estudio es mesotérmico siendo la temperatura promedio de 18o a 20oC. Las precipitaciones son notables durante todo el año, la pluviosidad fluctúa entre 4.000 mm. en las zonas bajas y 1.500 mm. en las zonas altas.

Las zonas altas están cubiertas por pajonal y monte bajo o chaparro, las estribaciones de la cordillera Real están cubiertas por una enmarañada vegetación de la que sobresalen árboles de Aliso y Copal fundamentalmente, en menor cantidad están presentes el cedro, canelo y guayacán. Hacia las zonas bajas el Chaparro prácticamente desaparece y la región es dominada por árboles de copal, chonta y palma en su gran mayoría, en menor cantidad se encuentra el cedro, canelo y guayacán. En las zonas planas y semipantanosas es abundante la caña guadúa.

Prácticamente todas las regiones planas hoy han sido convertidas en pastizales para crianza de ganado vacuno.

1.2.4 Morfología

El área estudiada está caracterizada por las siguientes unidades morfológicas.

a) **Cordillera Real.**- Está localizada en la parte occidental del área y corresponde a las zonas altas y estribaciones orientales de la cordillera de los Andes.

En esta zona se encuentran los volcanes inactivos Antizana (5.704 m.s.n.m.) y Cayambe (5790 m.s.n.m.), quienes han levantado sus edificios volcánicos sobre rocas metamórficas, las cuales constituyen el basamento cristalino de toda esta región. Además se encuentra aquí el cerro Sarahurco (4.676 m.s.n.m.) constituido enteramente por rocas

metamórficas.

b) **Estribaciones orientales de la cordillera Real.**- Constituyen la transición entre los páramos de la cordillera Real y la llanura aluvial del río Quijos-Coca. La parte alta se caracteriza por pendientes fuertes existiendo en partes acantilados en donde los ríos forman cascadas.

En esta zona alta la estabilidad de los materiales de cobertura es precaria produciéndose deslizamientos a lo largo del contacto suelo-roca por saturación en los materiales sueltos.

c) **Domo Napo-Galera.**- Representados por la Cordillera de Guagrahurco y el nudo de Dué, la cordillera de Guagrahurco está limitada hacia el occidente por acantilados que llegan hasta la depresión del río Quijos, esta meseta consta de una planicie superior formada de lutitas de la formación Tena, luego hay un primer escarpe que corresponde a las Calizas de la formación Napo medio, luego sigue una zona de relieve suave, semiplano, que corresponde a las lutitas de la formación Napo inferior, continúa un segundo doble escarpe que corresponde a las areniscas de la formación Hollin y en la parte inferior la formación Misahualle cubierta parcialmente por material piroclástico. Esta serie de rocas sedimentarias están cubiertas por material volcánico.

El nudo Dué se caracteriza por la presencia del volcán Reventador (3.485 m.s.n.m.) que con sus erupciones ha remodelado la morfología del sector de su influencia.

d) **Depresión del Quijos-Coca.**- La depresión del Quijos-Coca morfológicamente se puede dividir en dos sectores: Sector superior, comprendido entre Baeza y la Cascada de San Rafael y sector inferior comprendido entre la Cascada de San Rafael y el Codo Sinclair. El Sector superior se caracteriza por tener un ancho que fluctúa entre 2 y 5 km., con desarrollo de depósitos aluviales modernos y terrazas altas.

El sector inferior es más encañonado, limitado por grandes escarpes formados por rocas sedimentarias.

Los depósitos aluviales se encuentran a lo largo del valle. A partir del Codo Sinclair el valle del río Coca se ensancha nuevamente dando comienzo a la semiplanicie oriental.

1.3 Estudios geológicos anteriores

Los estudios geológicos de la parte noroccidental del Oriente Ecuatoriano se inician en el año 1921 en que los geólogos Sinclair y Wasson recorren la cuenca del Río Napo, publicando sus observaciones el año de 1927 en el informe "Exploraciones geológicas en el Este de los Andes del Ecuador".

Sinclair y Colony, en los años 1927-1928 estudian rocas volcánicas y metamórficas entre Papallacta y Baeza, así como rocas volcánicas de la formación Chapiza en las proximidades de la Cascada de San Rafael.

Tschopp publica "Oil Explorations in the Oriente of Ecuador" (1953) el cual es una síntesis de estudios geológicos realizados entre 1938 y 1950, dando así una estratigrafía de la región. W. Sauer (1965) publica su "Geología del Ecuador" actualizando la información existente y esquematiza la estructura regional del Ecuador.

En 1969 la Dirección General de Geología y Minas publica el "Mapa Geológico del Ecuador" a escala 1:1'000.000.

A partir del año 1974 el Instituto Ecuatoriano de Electrificación inicia estudios específicos en la cuenca del río Quijos-Coca: "Geología Regional del Sector entre los ríos Salado y Malo" (1975) Recursos Hidroeléctricos de la cuenca Quijos-Coca" realizado por INECEL-INTECSA (1975). En el año 1976 el Consorcio de Compañías Consultoras del Proyecto Hidroeléctrico Coca presenta el Informe de Inventario "Geología Regional y Sismología". En 1977 el mismo consorcio presenta el informe de Prefactibilidad y en 1978 el de Factibilidad del Proyecto.

2.0 GEOLOGIA REGIONAL

2.1 Generalidades

De los estudios geológicos realizados a lo largo de la cuenca del río Quijos-Coca se han diferenciado rocas metamórficas, sedimentarias e ígneas, las cuales son descritas a continuación.

2.2 Rocas Metamórficas

Pertencen al cinturón metamórfico de la Cordillera Real, el cual a su vez constituye el basamento cristalino sobre el cual se levantaron los volcanes Antizana y Cayambe. Buenas exposiciones en esta roca se tienen en la carretera Quito-Lago Agrió (Fig. 2).

2.2.1 Petrografía

Las rocas estudiadas han sido divididas atendiendo a su granulometría en Pelíticas y Cuarzo Feldespáticas (Metapelitas). Las abundantes rocas metapelíticas han sido separadas de las metabasitas, relativamente escasas, en base a sus asociaciones mineralógicas. Todas estas rocas no son representadas en el mapa geológico por su difícil cartografía y correlación.

2.2.1.1 Metapelitas

Corresponden a esquistos cuarzo feldespáticos, cloríticos, muscovíticos, filitas y esquistos carbonosos, gneises cuarzosos y micáceos en proporciones variables. Estas rocas tienen una asociación mineralógica típica.

cuarzo más albita más muscovita más clorita más epidota.

Macroscópicamente estas rocas presentan un color gris claro o verdoso con moteados claros y planos brillantes. La textura dominante es lepidoplástica-granoblástica de grano fino, localmente porfiroblástica. Otras rocas presentan la asociación.

cuarzo más albita más deldespato potásico más muscovita más biotita más clorita más cloritoide más epidota.

y otras rocas la asociación:

cuarzo más plagioclasa más muscovita más biotita más deldespato potásico más granate más cianita más clorita más epidota.

Las metapelitas tienen minerales accesorios ampliamente distribuidos: circón, carbonato, turmalina. Minerales secundarios comunes son carbonato, óxidos y sulfuros, estos últimos son abundantes en todas las rocas.

2.2.1.2 Metabasitas

Son rocas básicas que se presentan como fajas hasta de 100 mts. de potencia concordantes con la foliación regional.

Corresponden a esquistos cloríticos con epidota y actinolita, de color verde oscuro a claro y con una textura dominante lepidoblástica-granoblástica. La ocurrencia de estas rocas es apreciablemente en menor que las metapelitas.

2.2.2 Estructuras Metamórficas

Las rocas metamórficas de esta serie, son bien foliadas manteniendo un rumbo promedio de N 10oE y buzamiento variables, predominando los fuertes hacia el Occidente, localmente hay desarrollo de foliaciones plegadas y más comúnmente onduladas.

Estructuras plegadas son claras en muchos afloramientos, se tratan de mesoplegues con amplitudes no mayores que 1 cm. y una orientación S 10o W con inclinaciones variables desde 0o hasta 45o.

2.2.3 Edad del Metamorfismo

La evidencia encontrada en este estudio es que estas rocas fueron metamorfozadas por lo menos un par de veces, el último interesó a las rocas mesozoicas (Hollin, Napo) y a las del terciario. Por lo tanto se postula un metamorfismo de edad terciaria (Eoceno).

2.3 Formación Chapiza.- Jurásico Superior (Jk)

2.3.1 Generalidades

Este grupo de rocas volcánicas es considerado como un miembro de la formación Chapiza. La cual tiene en su parte superior el miembro volcánico Misahuallí. Aparece desde el Codo Sinclair hacia aguas arriba por el río Coca. En las dos márgenes del río en las partes bajas. Donde el río es encañonado, presenta franjas muy angostas de 200 a 400 m. de ancho, mientras que aguas arriba, al ensancharse el valle se presentan en forma más amplia extendiéndose por los valles de los tributarios. Buenos afloramientos se encuentran también en los ríos Salado, Murallas, Bombón, Azuela y Quijos y en el valle del río Borja. No se conoce en el área su potencia total, habiéndose sido estimada su

espesor en aproximadamente 650 m.

2.3.2 Petrografía

Esta formación reúne una gran variedad de rocas de origen volcánico entre las cuales se pueden mencionar los siguientes tipos petrográficos:

a) **Tobas porfíricas:** Su color varía de gris a gris verdoso cambiando a un gris rosado cuando existe mayor silicificación, son duras y compactas con diaclasas lisas y cortantes, tienen textura porfírica, con fenocristales feldespáticos en una matriz afanítica-vitrea. Afloran principalmente en el sector comprendido entre San Rafael y el Río Salado.

b) **Las ignimbritas.-** Presentan características semejantes a las anteriores, con la diferencia de que en estos se observa lentes o flamas de vidrio con espesores milimétricos o centimétricos paralelos entre sí, ya sea rectos u ondulantes. Se ha localizado tobas pseudo estratificadas de color gris-verdoso, con variedades afaníticas gris-azul, con una diferente granulometría que va de afanítico a medio, estos últimos posiblemente se traten de inclusiones de vidrio.

c) **Lavas Andesíticas.-** Con una coloración gris-verdosa a verde con fenocristales de plagioclasa y una laminación de flujo concordante con la estratificación de las tobas intercaladas (INECEL 1976).

La formación Chapiza localmente es instruída por pequeños cuerpos graníticos de composición intermedia tipo granodiorita, según se aprecia en la Fig. 2.

2.3.3 Edad

La ausencia de fósiles en las rocas que pertenecen a la formación Chapiza, impide conocer su edad. Recientemente, en el 1er. Congreso de Geología fue dado a conocer por el Ing. Pablo Duque una datación hecha en rocas de esta formación, el resultado fue 132×10^6 años. Correlacionando este tiempo pertenece al cretácico temprano Berriance, según tabla Estratigráfica F.W. Van Eysinga tercera Edición 1975.

2.4 Formación Hollin-Cretácico inferior a medio (Kh)

2.4.1. Generalidades

Se encuentran estas rocas aflorando a lo largo del valle río Coca en forma casi continua y hacia ambos márgenes, formando farallones casi verticales principalmente en la margen derecha, en donde se observa prácticamente un gran afloramiento continuo desde aguas abajo del Codo Sinclair hasta el río Murallas (Fig. 2). En la margen izquierda se tienen afloramientos a lo largo de la carretera en las cercanías de los ríos Santa Rosa, Salado y Reventador (Fig. 2).

2.4.2 Petrografía

La formación Hollin está constituida de areniscas cuarzosas de color blanco o amarillento cuando se encuentra meteorizada. Es típico su aspecto sacaroidal. En la parte basal de esta formación es común encontrar micro conglomerados de la misma arenisca cuarzosa. La arenisca presenta estratificación cruzada y se encuentra en bancos de hasta 2 m. de potencia separados por estratos laminares de lutita negra. Hacia el tope de la formación, las areniscas disminuyen su potencia y las lutitas se hacen más abundantes.

El cuarzo de la arenisca es preponderante redondeado y menos subredondeado, su tamaño llega hasta 3 mm. de diámetro en los microconglomerados. W.C. Krumbein y Sloss 1969 los llama conglomerados intraformacionales, compactados o litificados, se rompen de modo semejante e incorporan en una matriz arenosa, en tanto que se continúa la depositación, tales depósitos pueden clasificarse bien como conglomerados, o bien como brechas dependiendo de la angulosidad o redondez de los fragmentos.

2.4.3 Edad

En vista de que no se han encontrado restos de fósiles, la edad del techo de esta formación fue datado por determinaciones palinológicas como Albense inferior, por la misión IFP (Faucher y Savoyat 1973) y, la base se dató como Aptense (Campbell, 1970).

2.5 Formación Napo-Cretácico

2.5.1 Generalidades

Esta formación ocupa la misma extensión areal que la formación Ho-

lin a la cual está suprayaciendo. Sin lugar a dudas en origen es marino. Extensos afloramientos son encontrados en la gran curva que forma el Quijos-Coca desde aproximadamente Balsas hasta el Codo Sinclair. Su ausencia es menor en la margen izquierda en donde se encuentran parcialmente cubierta por la Formación Tena o por depósitos y formaciones más jóvenes.

2.5.2 Petrografía

Esta formación es fundamentalmente cuarzo-calcárea rica en materia orgánica, fosilífera. Tschopp (1943), litológicamente diferenció tres miembros dentro de esta formación los cuales son descritos a continuación.

2.5.2.1 Napo Inferior (Knl)

Constituido por lutitas cacáreas laminadas color gris oscuro a negro entre las cuales se van intercalando capas de areniscas glauconíticas con potencia máxima de 2 m. frente al río Amaluza, con calizas negras.

Estas rocas se presentan en algunos sitios con cierto contenido de cuarzo que las hacen más duras la potencia de este nivel llega a 240 m. aproximadamente.

2.5.2.2 Napo Medio (Kn2)

Constituida por calizas de color gris oscuro, en bancos gruesos separados por delgadas capas de lutitas negras, en las lutitas aparecen gran cantidad de fósiles (cefalópodos), la potencia en el área es aproximadamente de 100 m.

2.5.2.3 Napo Superior (kn3)

En este nivel predominan las lutitas más duras y con coloración que va desde el verde gris a gris oscuro hasta negro, en las cuales hay intercalaciones de finas capas de calizas color gris oscuro, con presencia de poca fauna (moluscos). La potencia media en el área es de 40 m. Los tres niveles fueron diferenciados en el área del Codo Sinclair mientras que en otros sectores únicamente se diferencian los niveles inferior y medio.

2.5.3 Edad

En base a estudios paleontológicos realizados por varios investigadores S.B. Reeside (1927), M. Breistroffer (1953) y por los geólogos Wasson y Sinclair, se data el miembro inferior desde albense hasta cenomanense; al mismo medio como Turonense y al superior como coniacense.

2.6 Formación Tena, Cretácico Superior (Kt)

2.6.1 Generalidades

Esta formación se encuentra suprayaciendo a la formación Napo en las partes altas del Codo Sinclair, (fig. 2). Los demás afloramientos, dentro del área estudiada son muy restringidos y locales, ya que han desaparecido por la erosión. La potencia de esta formación según H.J. Tschopp (1953) y R. Hoffstetter (1956) varía desde centenaes hasta un máximo de 1.000 m. En el área no se ha determinado potencia alguna, ya que no se llega hasta el tope. Tomando como base estudios de micropaleontología y Palinología realizados por el Instituto Francés del petróleo, a esta formación se la data integramente como Maastrichtense, mientras que otros autores la ubican en el cretaceo superior y el terciario inferior A.A. Olsson (1956). El medio de deposición de estos sedimentos fue predominantemente continental, aunque según informes de I.F.P. se han encontrado fuera del área de estudio niveles marinos pequeños entre los continentales.

3. GEOLOGIA DEL SITIO DE PRESA EL SALADO

3.1. Características Generales de la Obra

El sitio de presa está ubicado 1.300 m aguas abajo de la confluencia de los ríos Salado y Quijos, tendrá una altura de 10m. tomada de la cota del caudal del río 1.260 a la cota 1.360 m. que es la coronación, la longitud del eje de la presa es 1.100 m. en el flanco derecho de la presa se construirán 2 túneles de desvío con diámetro de 12m. c/u y una longitud de 700m. aproximadamente, y paralelos entre sí, se construirán dos túneles de baja presión con una longitud de 370m. hasta la chimenea de equilibrio.

La presa prevista es de escollera y se la construirá sobre rocas intrusivas granodioríticas y volcánicas del miembro Misahuallí, aflorantes en

los flancos derecho e izquierdo y cubierto en la margen izquierda por terrazas de material aluvial con potencia que sobrepasan los 150 m. ver fig. No. 3 Con el objeto de obtener datos más detallados sobre el sitio donde se construirá la Presa. Se efectuaron unos 4.000m. aproximados de perfiles sísmicos de refracción y 12 sondeos de electrorresistividad; se excavaron pozos investigatorios y trincheras, también fueron realizados estudios y análisis petrográficos de las muestras obtenidas en la zona principalmente de las granodioritas.

Lámina No. 1 - No. 2 ver anexo.

3.2 Geología del sitio de presa

El área estudiada presenta una topografía diferente en ambas márgenes del río, mientras la margen derecha tiene gradientes de hasta 60° de inclinación, constituida de rocas granodioríticas y volcánicas, cubiertas por suelos detríticos, la margen izquierda, con gradientes más suaves de hasta 45° de inclinación está constituida por depósitos terrazados aluviales que forman pequeñas planicies interrumpidas en la parte derecha por un maciso rocoso de forma piramidal. Tanto en el flanco derecho como en el izquierdo al pie de las pendientes tiene depósitos de material de escombro de talud de espesor y superficie variables.

Litológicamente el sitio de la presa está constituido por rocas volcánicas del miembro Misahuallí, rocas intrusivas granodioríticas, depósitos aluviales y coluviales ver fig. No. 3.

Las rocas volcánicas del miembro Misahuallí (Jk) son las rocas que presentan una mayor superficie en el área de estudio, tienen diversas coloraciones que van desde gris, gris verdoso a gris claro y amarillentos, son duras, compactas, con diaclasas lisas y cortantes. En las zonas de contacto con el cuerpo intrusivo se presenta fuertemente diaclasado, intensamente silificada, 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 la zona estudiada. Las diaclasas más representativas son N 60°E/80° NW; N25° W/60° SW; N80° W/75° NE' N 60° W/90°.

En el sitio de presa, intruyendo las rocas volcánicas de la formación Chapiza 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 20 m. en la que se localiza una pequeña fractura de 0.5. rellena de cuarzo blanco lechoso con presencia de mineralización. Las granodioritas macroscópicamente son de color gris claro con moteados negros, planos de fractura oxidados, los principales minerales son el cuarzo, plagioclasa, feldespatos potásicos, hiperstena, biotita, moscovita; como producto de alteración está la clorita. La presencia de plagioclasa zonada puede indicar un enfriamiento relativamente rápido del cuerpo intrusivo cerca al contacto con la roca encajante.

Externamente presenta un intenso diaclasamiento, siendo de mayor preponderancia el vertical como rumbos NW-SE, NE-SW.

Los depósitos terrazados en el área de presa ocupan apreciables superficies en la parte alta del paleocauce, donde está ubicada la estación de bombeo del Salado (oleoducto). Estas terrazas están formadas de limo-arenoso, arenas finas a gruesas, gravas con tamaño entre 5-30 cm. de (se han encontrado bloques de mayor tamaño pero esporádicos).

Estos materiales están formando capas y lentes de espesores variables, el conjunto tiene una potencia más de 200 m. (datos obtenidos de las perforaciones).

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 tamaño entre 5 y 30 cm. de aproximadamente. Redondeados y sub-redondeados, de rocas metamórficas intrusivas, sedimentarias y volcánicas recientes y con bancos intercalados de arena fina a gruesa. En algunas partes se han formado acumulaciones originando pequeñas islas cubiertas con espesores de más 4 m.

Los depósitos coluviales están presentes principalmente, en el sitio del eje de la presa. En la margen izquierda, ocupando una apreciable superficie y en el flanco derecho aguas arriba del eje estos depósitos coluviales están constituidos de bloques y pedazos de rocas dioríticas y

volcánicas del miembro Misahuallí mezclados con arenas, limos y arcillas; la potencia de estos depósitos es más de 15 m. aproximadamente.

Por las investigaciones geológicas superficiales, en el área de presa no se localizaron fallas estructurales, en lo que respecta a las diaclasas los sistemas principales son NW-SE/70° SW, E-W/80° N; buzamientos que oscilan según los datos de las investigaciones geofísicas en el sitio de presa.

De las investigaciones geofísicas se desprende que el límite de refracción más profundo varía de 3.170 a 6.100 m/seg. que se interpreta como superficie de roca sana, que inciden en dos grupos distintos.

A 3.170 - 3.350 Rocas volcánicas miembro Misahuallí.

B 4.750 - 6.100 Intrusivo granodiorita

3.3 Obras Civiles

Una presa de escollera, prevee el desvío por la margen derecha a través de 2 túneles con 12 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 fracturada y alterada desde la superficie hasta un promedio de 30 m. de profundidad según los registros de las perforaciones realizadas en el sitio de presa, 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. El espaciamiento observado entre estas fracturas es 30 a 50 cm. en promedio bajo estas condiciones la roca granodiorítica se presenta adecuada para los trabajos de perforación de los túneles. Sin embargo se prevee la necesidad de perforación anclaje, entibado, y concreto lanzado con el objeto de evitar desprendimientos 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 ser 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 la misma roca granodioritas descrita anteriormente.

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 el diseño 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 en las rocas volcánicas del miembro Misahuallí cubierto por depósitos aluviales.

En las partes no revestidas del vertedero, los taludes en la granodiorita - meteorizada deberá ser 2:1 y en el material aluvial 1:1. Eventualmente serán necesarios pernos de anclaje para la estabilización de bloques aislados por el fracturamiento. En lo que respecta a la capacidad de soporte de las rocas para la estructura del vertedero no se prevee problema de ninguna naturaleza.

La casa de máquinas superficial será cimentada en rocas granodioríticas y materiales aluviales, siendo válido en este caso las mismas observaciones realizadas anteriormente para la excavaciones del vertedero y canales.

3. Geología del embalse

Tomando como base la cota máxima 1.360 m., el embalse se extenderá 17 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. 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 del embalse; tanto el río Quijos como el Salado corren por valles amplios limitados por laderas rocosas cuyas gradientes varía entre 45° - 60°. En el fondo de estos valles se han formado pequeñas playas de material aluvial, algunas directamente sobre rocas volcánicas y otras sobre terrazas aluviales que en muchos casos forman taludes casi verticales muy inestables. Como lo son de fuerte pendiente, son muy frecuentes los desprendimientos que se acumulan en el pie de las mismas.

Litológicamente el área del embalse está constituida de rocas volcánicas de la formación Chapiza, areniscas cuarzosas de la formación HOLLIN, rocas intrusivas granodioríticas, depósitos aluviales terrazados.

En el área del embalse las rocas volcánicas del miembro Misahuallí 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 lavas andesíticas y las tobas porfíricas. Las lavas andesíticas presentan una coloración gris-verdosa con fenocristales de plagioclasa en una matriz afanítica; se puede ver una pseudo-estratificación, con coloraciones verdosas diferentes, esta pseudo-estratificación es concordante con las tobas porfíricas.

Las tobas porfíricas, tienen coloración gris o gris-verdosa 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 Chapiza en otras zonas. En el área del embalse no se ha podido determinar su espesor, pero se la estima en unos 650 m.

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 Chapiza con areniscas cuarzosas de color blanco o amarillo. En algunos casos presentan un aspecto sacaroidal de granos finos a gruesos formando estratos gruesos y delgados separados localmente por finas capas de lutitas negra o gris oscuras. Las capas de areniscas presentan estratificaciones cruzadas. En el área de estudio no se constató la potencia total; en el codo Sinclair alcanza 150 m.

Los depósitos aluviales terrazados se los observa a lo largo del río y en ambos márgenes. En algunos sitios presentan taludes casi verticales y descansan sobre rocas volcánicas del miembro Misahuallí y cubiertas en su mayoría por material aluvial contemporáneo y suelo vegetal. Están constituidos por arenas finas o gruesas de diferente tamaño redondeados y subredondeados con un material arcilloso-limoso y arenoso que sirve de matriz, son materiales medianamente consolidados, no se ha podido establecer exactamente el espesor de estos depósitos, sin embargo se estima en 100 m. en determinados lugares.

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.

Los minerales principales son plagioclasa con 58%, subhedral de color café pálido con zonación y maclas de albita-carlsbad. Los feldespatos potásicos en 12%; el cuarzo 15% con extinción normal rellenando intersticios, se observó la presencia de calcita como mineral de alteración, y también sulfuros y magnetita.

Los depósitos aluviales contemporáneos están cubriendo en muchos sitios a los depósitos terrazados, en otros se ha observado un contacto directo con las rocas que sirven de base. Generalmente estos depósitos están constituidos por material limoso-arcilloso, arenas finas a gruesa, gravas con tamaño de 2 a 10 cm. predominantemente aunque se puede observar bloques esporádicos de tamaño mayores. Estas gravas son de composición diversa, de las rocas intrusivas, metamórficas, volcánicas y sedimentarias.

Por la presencia de fuertes pendientes en el área de embalse, se ha observado una serie de acumulaciones al pie de los taludes, están constituidos de bloques angulosos de diferente tamaño mezclado 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 Chapiza y esporádicos bloques de arenisca; en el río Salado se han encontrado coluviones de rocas sedimentarias y volcánicas, (no consolidados). El área del embalse está cruzada por una serie de fracturas de rumbo N 24o E, localizada también en el río Salado y cubierta por material aluvial; una falla inferida de rumbo N 60o E, más hacia el sur cerca a la desembocadura del río Murallas, una falla vertical que está cubierta por terrazas aluviales y que tiene rumbo N45o W siguiendo hacia el sur o no se localizaron fallas de consideración pudiéndose solamente observar diaclasas en todos los afloramientos. En el río Salado el área del embalse fotogeológicamente se infieren dos fallas que por estar cubiertas por depósitos coluviales no pudieron ser confirmadas.

En el terreno en lo que respecta a estanquidad del embalse, los estudios y observaciones realizados en estas etapas permiten afirmar que no habrán fugas de agua hacia otras cuencas a pesar de la presencia de pendientes fuertes en ambas márgenes en el río Quijos y Salado. No se han observado indicios de alta inestabilidad. Fueron observados únicamente desprendimientos pequeños de material detrítico que cubren las pendientes rocosas; en épocas de intensa lluvia. En zonas donde el embalse no cubre totalmente las terrazas aluviales, principalmente en la cola del embalse, se preveé derrumbes y asentamientos de sus taludes cuando se haga el llenado del embalse; puesto que estos se verán afectados con la elevación del nivel freático.

3.5 Casa de Máquinas

Esta obra está prevista en la margen derecha y consta básicamente de dos túneles de conducción a la central, siendo los de baja presión de 9.50 m. y los de alta presión de 5.50 m. de . La alternativa considerada para la central exterior es de 560 MW, instalados en 4 unidades de 140 MW c/u. La totalidad de estas obras estarán ubicadas en roca granodiorítica, que ocurren en ambas márgenes donde se practicaron varios sondeos de los cuales en el presente estudio solamente se consideraron en el análisis el SR-25 y el Sr-32, ubicados respectivamente en los márgenes derecha e izquierda.

Mediante estos sondeos se pudo determinar la granodiorita, a veces es ligeramente alterada y con una fracturación evidente constituida por un sistema vertical a sub-vertical con un espaciamiento aproximadamente de 30 cm. El porcentaje de recuperación en estos sondeos fue aproximadamente de 90% y un RQD de 60% en general. La roca presenta oxidación en las fracturas y mineralización de sulfuros y, con tramos no recuperados que podrían atribuirse a zonas cisalladas. Las consideraciones de las características de la granodiorita en lo que respecta a la excavación de túneles son iguales a la de la margen izquierda.

La alternativa de implantación de una central subterránea, considerando el empleo de pernos de rocas, hormigón lanzado y trabajos de soporte, es geológicamente factible, los eventuales problemas con la presencia de infiltraciones de agua en las obras subterráneas serán perfectamente controladas por los medios convencionales.

3.6 Materiales de Construcción

Para el núcleo de la presa, fue estudiada una área de préstamo localizada, aproximadamente, 12 km, aguas arriba del eje, por la carretera Salado al Chaco. El material es producto de la alteración de lutitas carbonosa de la formación Napo, con abundante material orgánico fósil la superficie estimada es de $2.5 \times 10^6 \text{ m}^2$ y en la cual fueron ejecutados sondeos a barrenos y pozos exploratorios, con obtención de muestras representativas.

La profundidad promedio de los sondeos a barrenos fue de 4 m. y de 5 m. en los pozos exploratorios. El volumen total disponible estimado es de $17 \times 10^6 \text{ m}^3$. Los yacimientos de material aluvial constituídos de arena fina a gruesa y gravas, se encuentra localizada aguas arriba y aguas abajo del eje de presa calculado, alcanzando profundidades mayores a los 200 m., esto parece ser suficientemente grande para las necesidades previstas. En la margen izquierda, aguas abajo del eje de presa y a una distancia no mayor de 3 km., fue localizada en sitio adecuado a la implantación de una cantera, se trata de rocas volcánicas del miembro Misahuallí, duras y masivas, las mismas que constituyen buen material para enrocamiento y agregado grueso del concreto.

3.7 Sismología

Los datos del presente trabajo están basados en estudios generales realizados en el país, razón por la cual hay que considerarlos preliminares e indicativos.

La falta de aparatos para el registro de las actividades sismológicas en el área del Proyecto Coca impiden que se obtengan conclusiones definitivas.

El Observatorio Astronómico de Quito y el U.S. Coast and Geodestic Survey son las entidades del suministro de los datos relacionados con ubicación, fecha, magnitud y profundidad de los hipocentros de terremotos.

La figura No. 4 presenta la localización de los epicentros de los terremotos registrados con sus respectivos valores de magnitud y año de ocurrencia, la observación de que los epicentros de los sismos registrados antes del mes de Agosto de 1960 carecen de precisión en cuanto a

su localización. En los estudios relacionados a las magnitudes es necesario considerar los valores de los terremotos registrados a partir del 1 de Junio de 1963.

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

En los estudios realizados en el área, no fueron reconocidas fallas activas, sin embargo esa observación es muy difícil en un área con la cubierta vegetal densa como la existencia en la cuenca del río Coca.

Conocimiento sobre los terremotos destructivos, en lo que respecta a las medidas de los movimientos del terreno, permiten algunas conclusiones generales para los terremotos en la Costa del Pacífico.

Según Hudson, la máxima aceleración del terreno, en aluviones compactos en regiones epicentrales de fuertes terremotos, no es superior a 0.5 gr. aproximadamente.

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

Movimientos destructores del terreno, asociados a terremotos, son de tres tipos, los mismos que deben ser identificados, ya que presentan diferentes problemas de medidas e interpretaciones de los años.

1.- El terremoto puede iniciar deslizamientos o movimientos superficiales locales, los mismos que pueden dañar las estructuras por el hecho sencillo de remoción del material de cimentación.

2.- El choque producido en el terreno por el terremoto puede ocasionar, en larga escala un asentamiento y consolidación del suelo y subsuelo, causando daños en las estructuras, por deformación excesiva de la fundación.

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

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

área.

El informe de Woodward-Clyde Consultants sobre el estudio preliminar de los riesgos sísmicos para la presa Salado, incluyó un reconocimiento geológico y dos meses de observación microsísmica en una área de 50 Km, alrededor de la presa. En el Informe se incluye que no hay evidencia de fallas activas en el sitio de la presa y que las evidencias geomorfológicas son indicativas de un bajo grado de actividad de fallas comparando con otras áreas del Ecuador. En base a los estudios de la Woodward Clyde Consultants, se concluye que el sitio Salado no necesita consideraciones especiales de diseño para fallamientos que ocurran las fundaciones. En el mapa sismológico se observa que en el sur Oriente existe la mayor concentración de epicentros de terremotos, correlacionando dichos terremotos, con el área de estudio. De tal manera que, el terremoto de diseño deberá ser considerado como de intensidad VIII en la escala de Mercalli equivalente a una magnitud de VI en la escala de Richter.

3.8 Consideraciones geotécnicas

Las características geológicas de la región en las obras civiles a proyectar depende de otros factores.

1.- **Factor geomorfológico:** Este factor desglosado a continuación, deberá ser estudiado para futuras investigaciones:

El drenaje de la mayor parte de la cuenca está sujeta a un control estructural, ya que muchos de los ríos se han localizado en los sectores de mayor debilidad mecánica que viene dado por presión de diaclasamiento o fallamiento.

2.- **Factor tectónico:** El río Quijos está limitado en su curso medio por dos fallas paralelas que parecen prolongarse en dirección del volcán Reventador, lo que hace pensar en una relación de causa-efecto entre ambos fenómenos, en consecuencia se plantea la posibilidad de que estas fallas hayan estado en actividad, en época reciente y puedan reactivarse. Todo estudio que se efectúe en el futuro deberá contemplar la posibilidad de inestabilidad tectónica.

3.- **Factor volcánico:** Por la información existente hasta la fecha, sobre la acción del Volcán Reventador se puede concluir que no hay peligro

de erupciones que produzcan corrientes de lava, que puedan comprometer el Sector de la Cascada San Rafael, la acción volcánica así como su influencia en la sísmica de la zona es objeto de un estudio particular.

4 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES:

1.- Para la etapa de diseño deberán concentrarse las perforaciones, galerías en el lugar donde se considere factible la construcción de la presa, para poder determinar con exactitud. Las discontinuidades y efectos de la acción mecánica y química que podría haber afectado el sitio. Por supuesto es imposible conocer con un cierto grado de precisión todos los acontecimientos reunidos, incluso conociendo la historia completa, no sería posible determinar el estado tensional por ignorar las propiedades características del material bajo sollicitaciones de larga duración, y el mecanismo real de deformación por efecto de la subpresión de erosión.

2.- Deberá realizarse ensayos de mecánica de rocas en los lugares donde irá cimentada la presa, para determinar el módulo de deformación, el índice de calidad de las rocas (RQD), módulo de elasticidad, etc.

3.- A pesar de no haber detectado fuertes movimientos sísmicos en el área de estudio se deberá considerar el coeficiente de seguridad correspondiente en el estudio y diseño de la presa; e incrementar los estudios de sismicidad con la instalación de una red de sismógrafos.

4.- Se debe poner especial atención en la medición del acarreo sólido de los ríos Quijos-Salado, ya que apreciativamente es considerable y su sedimentación causará los inconvenientes pertinentes.

5.- En el diseño final deberán realizarse varias pruebas de bombeo adicionales, una de estas pruebas debería ser en los apoyos en donde es posible que zonas permeables estén presentes.

6.- En el diseño final deberán realizarse inyecciones, para la reducción de las filtraciones por debajo de la presa, o hacia el interior de excavaciones bajo la capa freática, para el control de la subpresión bajo estructuras, junto con dispositivos adecuados de drenaje.







