

El Coca.

Por: Ingeniero Héctor E. Parra F.

El proyecto hidroeléctrico Coca, sitio de presa Salado ubicado en la Republica del Ecuador, Provincia de Napo, sobre el Rio Coca, aproximadamente a 1 km aguas abajo de la confluencia de los Ríos Salado y Quijos, nos presenta enseñanzas importantes en la evaluación de sitios de ingeniería y acerca de los métodos que empleamos tradicionalmente, tales como el método de refracción sísmica, las perforaciones exploratorias, y la evaluación sísmica del sitio.

En el artículo se describen algunos problemas concretos que se superaron durante la ejecución de las perforaciones exploratorias hacia el año 1978, actividad en la cual el autor participó en el sitio del proyecto como director del programa de perforaciones, y los problemas que se generaron a raíz de una interpretación geosísmica equivocada, originada por la conformación de la estratigrafía, la cual a 80 metros de profundidad dentro del aluvión del rio Coca presentó un horizonte refractor muy homogéneo y claro, el cual se confundió con la roca de base, para ser en realidad una capa de limos de alta densidad de más de 10 metros de espesor. La roca de base en realidad se encontró, después de continuar las perforaciones, a 200 metros de profundidad bajo el aluvión del Rio.

Posteriormente, en marzo 5 de 1987, ocurrió un temblor en cercanías del Coca, el cual coincidió con unas lluvias torrenciales y prolongadas, eventos que sumados generaron un "deslave" o avalancha de lodos de proporciones gigantescas que terminaron anegando el sitio de presa de Salado, y nos traen al recuerdo aquella capa de suelos que encontramos a 80 metros de profundidad en 1978, como si el flujo de lodos se hubiera repetido miles de años atrás.

Finalmente se hace una reflexión sobre todo el espectro de escalas de tiempo que maneja el ingeniero en la evaluación de sitios de ingeniería, desde el milisegundo en la interpretación geosísmica, hasta los miles de años en las dimensiones geológicas. La recurrencia del fenómeno de la avalancha en sitios tropicales, también revela un importante considerando para la evaluación sísmica de sitios.

El Proyecto Hidroeléctrico Coca.

El proyecto hidroeléctrico Coca está localizado en la vertiente oriental de la Cordillera Oriental de la República del Ecuador, aproximadamente a 90 km de Quito. La elevación del sitio es de aprox 1300 m.s.n.m.

El proyecto comprende 3 presas sobre los Ríos Salado y Quijos, y una sobre el Río Coca, el cual se forma con la unión de los Ríos Quijos y Coca. Esta última, llamada presa Salado se pretendía proyectar a 1 km aguas abajo de la confluencia de los Ríos Quijos y Salado, sobre el Río Coca, y sería de escollera con núcleo impermeable, con 144 metros de altura, y 1000 metros de longitud. La capacidad generadora de todo el desarrollo se estimaba en 5.570 MW.

Aguas abajo del proyecto Coca se identificaron otras presas ubicadas en el "Codo Sinclair", un accidente del Río Coca y otros ríos que aprovechaba curvas del río y grandes caídas, aunque en sitios bastante inhóspitos y poblados de comunidades de indígenas jíbaros.

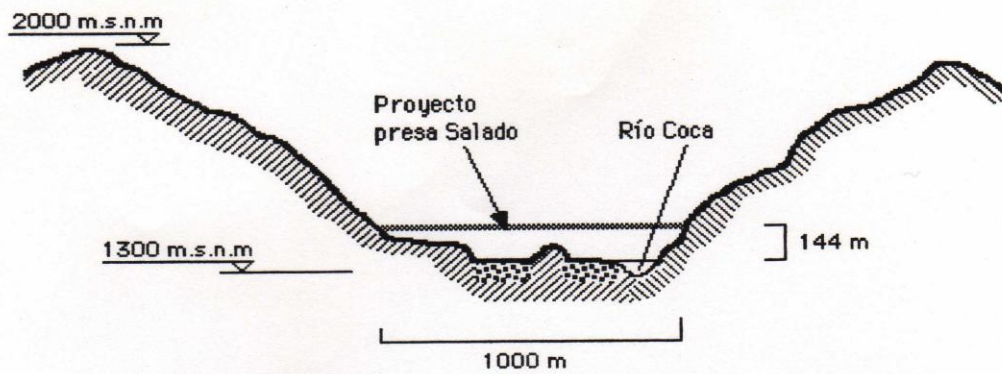
Geología.

Los estribos del sitio de presa no presentaban problemas estructurales mayores, y estaban conformados por rocas duras, dioritas y cuarzodioritas. El sitio de presa elegido presentaba un pequeño cerro de cuarzodiorita identificado por los geólogos como "el intrusivo", en el centro de la gran planicie de inundación del Río Coca. Por lo tanto la gran incógnita desde el punto de vista de cimentación de la presa sería el espesor del aluvión y sus características, por lo cual el programa de perforaciones se concentró en determinar las características de la terraza aluvial del Río alrededor del eje de presa, y obviamente algunas comprobaciones en los estribos. (Figura 1)

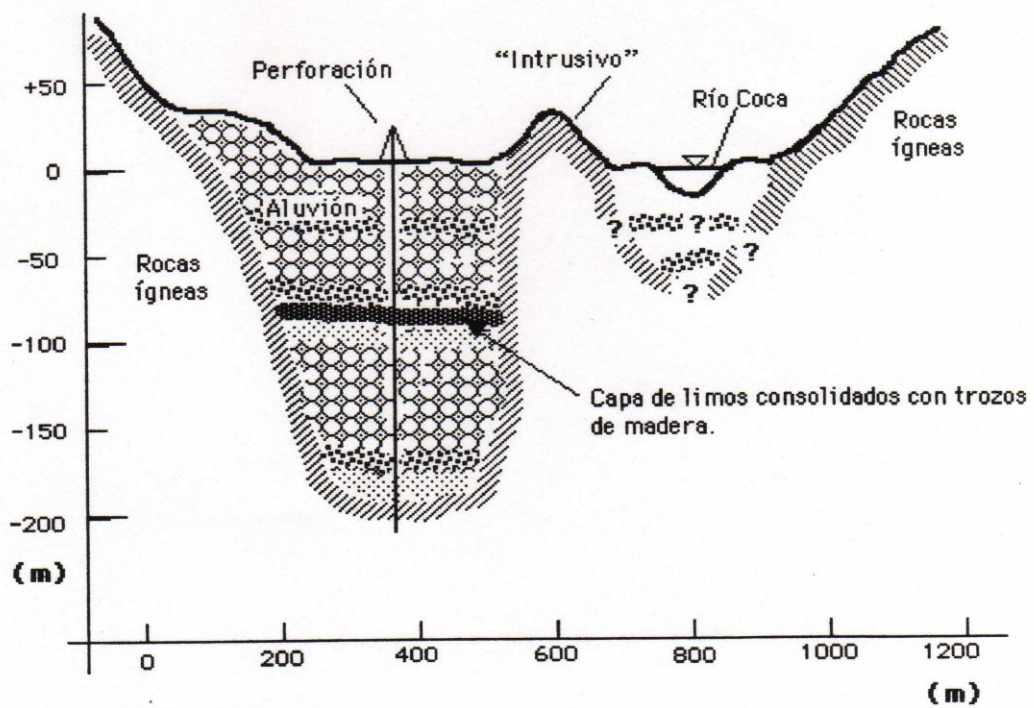
Geofísica.

Se adelantó un programa de geofísica por el método de refracción sísmica en la planicie de inundación del Río Coca sobre el eje de presa propuesto. Este programa se desarrolló por medio de líneas de refracción sísmica de 220 y 330 m de longitud, con sismógrafo de 12 canales y por lo tanto espaciamiento entre geófonos de 20 y 30 metros.

“El Coca” Figura # 1



Corte topográfico por el eje de la Presa Salado.



Corte a mayor escala per eje de presa que muestra horizonte refractor de ondas sísmicas a 80 m de profundidad.

Las limitaciones de espacio y la composición de la estratigrafía condujeron a identificar un claro horizonte refractor a 80 metros de profundidad bajo el aluvión.

Las evidencias de los afloramientos de rocas ígneas en los estribos y la evidencia del "intrusivo" condujeron a identificar este horizonte con la roca de base, y en esta información se basó la convocatoria para la licitación de perforaciones, de tal manera que en esta se hablaba de perforaciones en aluvión grueso de 80 metros de espesor.

Perforaciones.

La licitación de las perforaciones fue ganada por Roberto Maldonado y Cia aunque la legislación ecuatoriana cambió por estos días para obligar a las compañías extranjeras a hacer consorcios con compañías ecuatorianas por aquello de la transferencia de tecnología, y terminamos asociándonos con Higgeco del Ecuador para realizar las perforaciones. Más tarde el programa de perforaciones resultó tan grande que fue dividido en dos contratos, una de cuyas partes fue adjudicada a Geosisa de Ecuador. Los trabajos de perforaciones anteriores en diversos desarrollos hidroeléctricos como el Jubones, Paute, Guayllabamba, Puyango-Tumbes, Marcabelí habían sido asimismo realizados por Roberto Maldonado y Cia de Colombia, y otros proyectos de no menor importancia como el Montufar habían sido ejecutados por José M. Tamayo y Asociados de Colombia y Rodio de Perú en etapas previas del proyecto Paute.

Iniciación de las perforaciones.

El programa de perforaciones se planeó para ser ejecutado con el sistema wire-line, en el cual la muestra se extrae de la perforación extrayendo solamente el tubo interior del muestreador mediante el lanzamiento de un cable y un pescador por el interior de la tubería, de tal manera de no hacer necesaria la extracción de toda la tubería de perforación sino solamente del tubo interior del muestreador que contiene la muestra.

Técnicas de perforación

La perforación de 80 metros de aluvión exige el uso de lodos bentoníticos viscosos para extraer las arenas hasta la superficie y para mantener el hueco impregnado de bentonita de tal manera que se forma un "cake" en las paredes, aumentando así la estabilidad de la perforación.

El uso de bentonita en la perforación de aluviones, es indispensable desde el punto de vista de estabilidad del hueco y seguridad para la herramienta pero representa una limitación en la evaluación de la permeabilidad in situ por medio de ensayos de infiltración.

Al llegar las primeras perforaciones a 80 metros de profundidad lo que se encontró no fue la roca de base sino un horizonte de grandes piedras y una capa de limos muy consolidados con rastros de madera de más de 10 metros de espesor, el cual se dejaba corazonar con muestreadores especiales de doble pared.

La continuación de una perforación en aluvión que ha sido programada para 80 metros de aluvión y que se prolonga hasta 200 metros de profundidad reviste problemas muy serios que radican en la manera como se inicio la perforación. La perforación telescópica, de haberse conocido la mayor profundidad final de las perforaciones se hubiera tenido que iniciar con diámetros más grandes para hacer factible la reducción de diámetro con la profundidad. Esto obviamente tiene un límite por lo cual llega un momento en que para pasar horizontes inestables o lograr el retorno de fluido de perforación que se ha perdido, obliga a cementar y reperforar algunos tramos de la perforación con la consiguiente pérdida de tiempo y el aumento de riesgos de perder la tubería.

Ha sido un estándar en los métodos de evaluación de la calidad de la roca, un diámetro mínimo de perforación NX con el cual se obtiene una muestra de 54.7 mm de diámetro. En el sistema wire-line la muestra resulta de un diámetro inferior, 47.6 mm. De hecho, el RQD se definió con base en muestras de diámetro NX.

Finalmente las perforaciones se llevaron hasta los 200 metros de profundidad después de grandes dificultades, y al perforar la roca de base, de la cual no se comprobaban sino unos pocos metros, ocurría un fenómeno de "pegada" que consistía en que el tomamuestras o barril, al entrar justo en la roca ígnea de gran dureza, se pegaba a la roca, como si lo hubieran soldado a esta, aparentemente por un flujo de arenas movilizadas por corrientes subterráneas.

El logro de haber llegado a la roca se ensombrecía con la pegada de toda la tubería con este fenómeno que obligaba a dinamitar la tubería de perforación algunos metros arriba del barril y extraer la tubería sacrificando el barril el cual quedaba enterrado en la roca.

En alguna ocasión se logró soltar está pegada haciendo circular petróleo crudo durante dos días y dos noches, fluido que obteníamos regalado de la vecina estación de bombeo del oleoducto ecuatoriano de el Salado.

Evaluación sísmica.

La evaluación sísmica del proyecto Coca realizada por el año 1980 por Woodward Clyde Consultants e Higgeco Ltda, se basó en un inventario de los sismos ocurridos en cercanías del proyecto, el estudio de las fallas activas cercanas al proyecto y a la formulación de un modelo tectónico para estimar una magnitud del sismo de diseño para la presa. En este estudio se instalaron acelerógrafos y se estudio la microsismicidad para evaluar la probabilidad de ocurrencia de un evento sísmico en la zona. Ofreció siempre gran expectativa el cercano volcán Reventador, que durante la etapa de perforaciones observábamos con fumarolas en las madrugadas despejadas frente al campamento de Inecel (Instituto Ecuatoriano de Electrificación) en San Rafael, y que en algunas ocasiones se oía rugir.

El sismo de marzo 5 de 1987.

En 1994 organizó la Asociación de Ingenieros Civiles de la Universidad Nacional un seminario sobre ingeniería sísmica en Bogotá, durante el cual tuvimos la oportunidad de escuchar una conferencia al ingeniero Manuel García L, su tema en esta ocasión el sismo en Ecuador del 5 de marzo del 1987. Cuál no sería la sorpresa cuando en las diapositivas presentadas por el ingeniero García, se observa el sitio del Salado, aquel sitio donde trabajaron 5 maquinas de perforación con todo su personal durante más de un año, totalmente anegado por un flujo de lodos que arrasó con gran parte del oleoducto ecuatoriano, se llevó el puente sobre el río Salado, el cual cruzaba el personal 3 veces diarias para ir a desayuno, almuerzo y comida (el restaurante de dona Lucy quedaba cruzando el puente), y finalmente hizo que se archivara el tan estudiado proyecto Coca.

El sismo tuvo su epicentro en cercanías del volcán Reventador pero este no entró en erupción. Antecedió al sismo una época de intenso invierno en la zona que saturó todas las laderas cercanas al epicentro, las cuales están conformadas en su mayoría por cenizas volcánicas y suelos residuales.

El movimiento telúrico movilizó todos estos suelos saturados y el resultado fue el aumento intempestivo de los caudales de los ríos con lodos, ante todo el Río Salado y el Río Quijos, precisamente las corrientes que conforman el Río Coca y que alimentarían el embalse de la presa Salado.

Como sería el aspecto que presentaba durante la avalancha la cascada de San Rafael, al lado del campamento de Incecel, un salto que daba el Río Coca de unos 60 metros de altura, 15 km aguas abajo del sitio del Salado.

Que sitio más Salado!

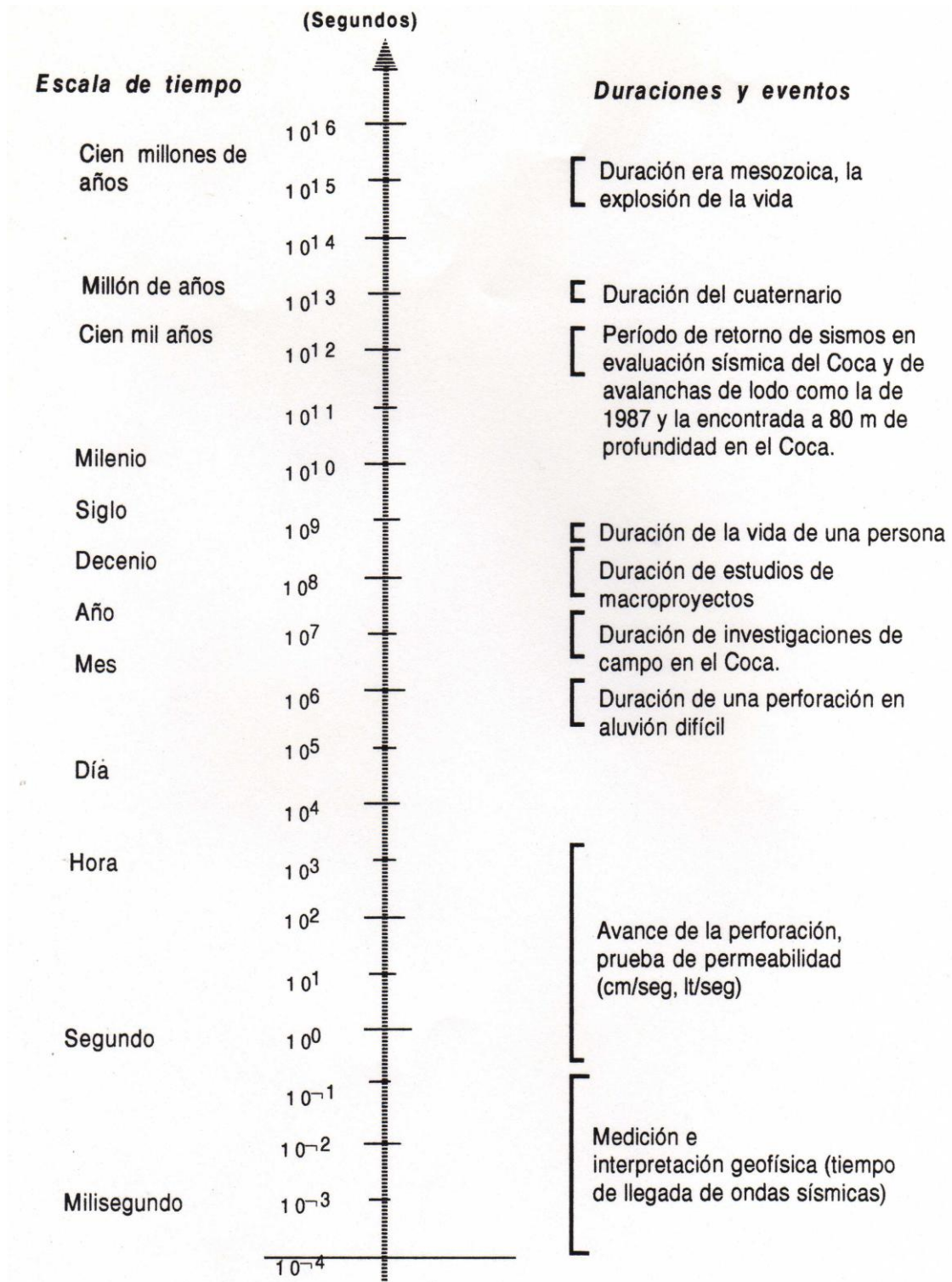
Las escalas del tiempo.

Resulta de una amplitud impresionante las diferentes escalas de tiempo con las que se enfrenta el ingeniero en la evaluación de un sitio de proyecto, o durante su estudio cosa típica de las ciencias de la tierra o geociencias. Desde el milisegundo que manipula el geofísico en el análisis de los tiempos de llegada de las ondas sísmicas a los detectores, pasando por el día del diario vivir de todos los profesionales y personal que trabaja en un proyecto de ingeniería, pasando por la década que sería la medida de duración del estudio de un proyecto como el Coca, o los milenios que distancian las erupciones volcánicas, hasta los centenares de milenios que considera el ingeniero como recurrencia de sismos probables.

Cuanto tiempo pasó entre la avalancha de 1987 y la que parece haber habido decenas o centenares de milenios atrás en el mismo sitio? La capa de limos consolidados encontrada a 80 metros de profundidad en las perforaciones de 1978 no es otra cosa que la repetición del evento de 1987, otro deslave de la Cordillera ocasionada por inviernos torrenciales y sismos simultáneos.

En la figura # 2, se intenta graficar estas escalas de tiempo con relación a una escala exponencial de segundos.

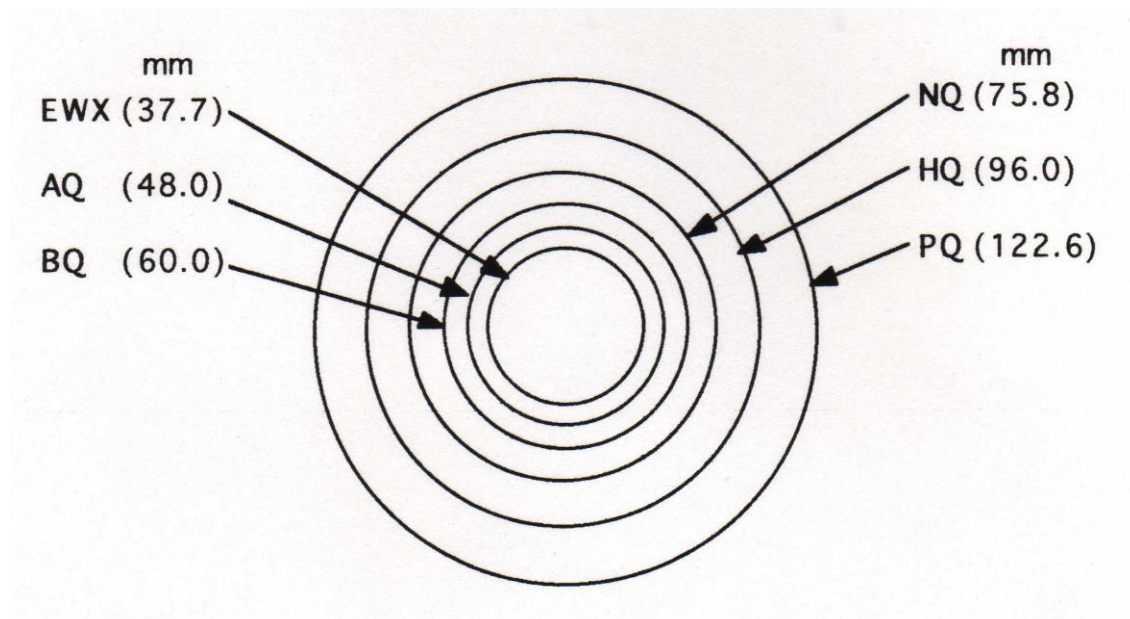
“El Coca” Figura # 2



Conclusiones:

Perforaciones:

- Las perforaciones en aluviones gruesos consolidados se pueden adelantar con éxito mediante sistema wire-line, y rotación con avance hidráulico y coronas de diamante de insertos o impregnadas y con circulación de lodos bentoníticos. Es necesario utilizar un método telescópico de perforación el cual consiste en iniciar la perforación con un diámetro grande, de tal manera que la tubería de perforación de los primeros tramos sirva de revestimiento para continuar la perforación a mayores profundidades. La programación de la perforación se debe hacer con base en lograr el muestreo de la roca de base por lo menos en diámetro NQ, En el esquema siguiente se muestran los diámetros de sondeo resultantes de coronas de diferentes tipos, disponibles comercialmente:



- Para profundidades grandes de aluvión (mayor que 50 m) la perforación telescópica puede no ser factible por lo cual a partir de estas profundidades se podrá utilizar la cementación de tramos de sondeo con acelerantes, y posterior reperfusión.
- La cementación del sondeo es útil en los casos de pérdida de fluido de perforación. La cementación de tramos específicos de una perforación se puede adelantar instalando tarugos de papel introducidos a la fuerza en la punta de la tubería para crear un tapón que limite la cementación.

- La recuperación del fluido de perforación no siempre es factible en una perforación en aluvión, por lo cual se deben mantener en buen estado los manómetros de las bombas, para medir la presión del fluido y poder prevenir taponamientos.
- Los primeros metros en un perfil de aluvión son muy inestables, por lo cual se debe intentar iniciar la perforación con un apique de 3 metros de profundidad, para instalar manualmente un tubo de revestimiento de gran diámetro.

Geofísica:

- Es ideal tener una perforación exploratoria para calibrar los datos de una investigación por el método de refracción sísmica. En el Coca se hizo al revés y el resultado fue una equivocación. Hubiera sido muy difícil y costoso hacer una perforación previa a la investigación sísmica.
- Para grandes profundidades de aluvión o suelos de cobertura como en el caso del Coca, hay restricciones de espacio que no permiten lograr llegadas de la onda sísmica refractada por la roca de base a los detectores. Una técnica factible para "alargar" las líneas sísmicas (y por lo tanto lograr más penetración) es mediante "disparos fantasmas", que consiste en que con un arreglo fijo de geófonos se realizan disparos fuera de la línea cada vez más alejados de esta. Las limitaciones de espacio en el caso del Coca también hubieran dificultado esta técnica.
- Para lograr los mejores resultados con la técnica de refracción sísmica es deseable un alto contraste de velocidades entre los diferentes estratos, y que la distancia crítica sea bastante menor que la longitud del valle o sitio que se quiere investigar. En el caso del Coca, el aluvión compuesto por grandes bolos de rocas volcánicas e ígneas en cerrado empaquetamiento (velocidad típica de ondas compresionales = $v_p \sim 2.000$ a 4.000 m/seg), no ofrece un gran contraste con la roca de base (cuarzodiorita $v_p \sim 4.000$ a 6.000 m/seg) de tal manera que en la longitud del terreno accesible no se alcanza a lograr la distancia crítica.
- Para profundidades de la roca de tal magnitud como en el Coca, se puede intentar una exploración por el sistema de reflexión sísmica, en el cual el horizonte de roca sí dará una clara respuesta.

Evaluación sísmica:

Estos estudios son de gran complejidad y costo, y en ellos se incluye la evaluación de deslizamientos probables inducidos por sismos. Lo que no se considera generalmente es la posibilidad de ocurrencia de un deslave como el ocurrido en el Coca en 1987, y miles de años atrás, típico de zonas tropicales de gran pluviosidad y sismicidad. La deforestación acelerada de nuestros bosques húmedos tropicales, ocasionada por la colonización desordenada en los países en desarrollo, hacen cada día más factible este tipo de fenómenos.

Agradecimientos:

Agradezco ante todo al ingeniero Manuel García López quien me facilitó material relacionado con el sismo de 1987 en la zona del Proyecto Hidroeléctrico Coca. También al ingeniero Jean Paul Vergnaud con quien alternamos la dirección de las perforaciones, y al señor Miguel Pérez Rojas, jefe de perforaciones de Roberto Maldonado y Cia, quien con su inventiva y creatividad sacó adelante muchas innovaciones en la perforación de grandes espesores de aluvión, y quien me ayudó a recordar algunos detalles que han sido incorporados en el presente artículo.

Bibliografía:

- Lomnitz C., Egred J., García M., Hall M, Plaza G., Ríos R., Torrealva D., Yepes H. El terremoto de la zona Centro-Nororiente del Ecuador. 5 de marzo de 1987. Informe técnico editado por CERESIS/Unesco, Lima.
- Woodward Clyde Consultants e Higgeco Ltda. 1980. Evaluación sísmica del sitio de la presa Salado, Proyecto Hidroeléctrico Coca. (Borrador) Quito, Ecuador.
- Trefethen J. 1983. Geología para Ingenieros. Compañía Editorial Continental, México.
- Harvey J.C. 1987. Geología para ingenieros geotécnicos. Editorial Limusa.

Bogotá, septiembre de 1995.