

ESTUDIOS GEOLOGICOS EN EL PROYECTO Y CONSTRUCCION DE LAS OBRAS DE RIEGO (*)

MARIANO RUIZ VAZQUEZ (**)

Introducción,

La Geología por definición es la ciencia que estudia la tierra, estudiándola tanto en lo que respecta a su constitución, estructura y arquitectura, como en lo que respecta a todos aquellos fenómenos que ininterrumpidamente han venido a modificarla, modificaciones debidas a los esfuerzos propios de la corteza terrestre y al trabajo incesante de los diversos agentes de intemperismo, erosión y depósito.

Es sobre la parte de la corteza terrestre donde estos agentes ejercen su mayor influencia y donde el hombre levanta sus edificios y monumentos, que la geología desde el punto de vista de la Ingeniería Civil tiene su máxima aplicación.

Las presas, obras construídas de diferentes tipos y con distintas finalidades presentan muy variados problemas, algunos del dominio del Ingeniero y otros del dominio del Geólogo. La formación de un lago artificial como es el caso de una presa, requiere pues, estudios muy detallados que garanticen por una parte la impermeabilidad de las rocas donde el agua sea almacenada y por otra, la resistencia mecánica de las mismas en el sitio donde deberá construirse el muro de retención o la cortina.

No hay otra obra dice el señor Profesor Coyne que necesita más del suelo que una presa. Dejando a un lado el área, a veces enorme, que constituye el almacenamiento consideraremos únicamente la cortina compuesta esencialmente de dos partes principales: "El muro artificial propiamente dicho, hecho por la mano del hombre y el muro natural que lo prolonga, lo rodea y sobre el cual está cimentado. El más importante de los dos es el segundo, aquel que nadie ve estando la presa

(*) Conferencia presentada en el Curso Internacional sobre el Estudio, Construcción y Operación de Pequeñas Obras de Riego. México, 1957.

(**) Geólogo; Depto. Consultivo de la Secretaría de Recursos Hidráulicos.

ya construída. Es en este muro natural donde reside el riesgo más grande ya que 9 veces sobre 10 es éste el que falla" (*).

Puede verse con ésto la importancia de realizar, cada vez que se trate de construir una presa, estudios geológicos bastante profundos y detallados procurando no escribir un tratado de geología pura sobre las condiciones del sitio considerado, sino una geología completamente particular a pequeña escala que nos hable:

1o.—De la secuencia estratigráfica y características litológicas de las rocas y por ende de su resistencia mecánica.

2o.—De las condiciones estructurales de las mismas.

3o.—De las condiciones de impermeabilidad del suelo.

Es obvio que la colaboración del Geólogo con el Ingeniero debe ser muy íntima, debiendo iniciarse ésta en el momento mismo en que se hace el reconocimiento preliminar para la elección del sitio o de los sitios de posible construcción, más tarde en los reconocimientos detallados, posteriormente en la construcción y finalmente estando la presa en operación.

Veremos a continuación en qué momento y cómo se inician las actividades del Geólogo.

Estudios Preliminares.

El estudio geológico preliminar una vez elegido él o los sitios de posible construcción, deberá llevarse a cabo antes de iniciar cualquier otro tipo de estudios que amerite gastos mayores; por ejemplo si localizamos un sitio en el que puede verse por simple observación del paisaje, que existe vaso y boquilla (se entiende desde luego que conocemos el régimen de la corriente cuyas aguas quieren captarse), antes de designar una o dos brigadas topográficas para hacer el levantamiento general de los mismos es conveniente y sobre todo económico movilizar un Geólogo que se encargue de dictaminar si el sitio reúne condiciones de construcción satisfactorias que amerite estudios posteriores, por ejemplo el levantamiento antes citado o bien exploraciones detalladas.

(*) A. Coyne, 1933 Lecciones sobre las grandes presas (Ecole Nationale des Ponts et Chaussées).

Lo más indicado sería que en el momento en que el Ingeniero hace su reconocimiento para elegir un sitio de probable construcción, se hiciera acompañar por un Geólogo que le indicara sobre el terreno si las condiciones eran o no favorables.

¿En qué consiste el estudio geológico preliminar?

Este estudio, una vez provisto el Geólogo de cartas geológicas si las hay y de haberse documentado sobre la geología regional, consiste en realizar sobre el sitio elegido una serie de caminamientos:

- 1o.—En el sitio donde podría ser cimentada la cortina y según la topografía del terreno donde podría localizarse el vertedor de demasías.
- 2o.—En el área que sería inundada por las aguas y
- 3o.—En los sitios donde puedan ser localizados los bancos de préstamos.

En el momento de efectuar los caminamientos en la zona de cimentación de la cortina deberán ser anotados en la libreta de campo todos los tipos de materiales que sean observados, en particular las características de las rocas en los afloramientos tales como: tipo de roca, aspecto macroscópico (color, granulometría, minerales predominantes) variaciones litológicas tanto en el sentido horizontal como en el vertical, características estructurales (pliegues, fallas, fracturas y diaclasas con su dirección y echado) grado de alteración y alterabilidad.

Se tomarán además las muestras más representativas de los afloramientos con el fin de hacer en el laboratorio determinaciones petrográficas, paleontológicas y si se quiere de alterabilidad y de resistencia mecánica.

Puesto que en el sitio de cimentación de la cortina los **dos factores** más importantes son: la Resistencia Mecánica de las Rocas (estabilidad) y la impermeabilidad, todas nuestras observaciones deberán ser orientadas de tal manera que podamos llegar al conocimiento preciso de estos dos factores.

Otras observaciones además de las anteriores citadas y que también deben hacerse al efectuar los caminamientos puesto que su desconocimiento puede influir en la estabilidad e impermeabilidad de la obra son: presencia de derrumbes y

deslizamiento de tierra, en general equilibrio de los taludes, presencia de manantiales, rocas con aspecto de antiguos acuíferos, rocas fracturadas, rocas cavernosas, derrumbes u otros materiales que puedan cubrir terrenos permeables, presencia de antiguos cauces del río cuyas aguas se quieren captar, pequeños caños de deyección y naturaleza e importancia del material que constituye en sí el acarreo del río.

En lo que respecta a este último es muy conveniente hacer un análisis geométrico de la forma de la boquilla que nos (algunas veces las partes más estrechas donde el lecho rocoso es invisible no son necesariamente las más favorables para la elección del sitio de construcción de una presa. Las dificultades técnicas y el volumen de excavaciones y de material de construcción crecen rápidamente con la profundidad a la cual deba hacerse la cimentación) ayude a determinar muy burdamente el espesor del material de acarreo. *

Partiendo del hecho de que teóricamente los ríos en sus cursos medio y superior labran su cauce en forma de V, si prolongamos en el perfil de una boquilla las líneas correspondientes a los taludes para llegar a formar esta V nos encontramos con que puede determinarse repito muy burdamente el espesor del material de acarreo.

Los caminamientos en el área que será inundada por las aguas deberán hacerse partiendo del conocimiento que se tenga de las rocas en la zona de la boquilla; es muy posible que en este sitio se observe la presencia de rocas impermeables tales como pizarras, lutitas, macizos graníticos, etc. y que estas rocas ocupen una gran extensión, en este caso está por demás explorar el vaso en detalle puesto que es de esperarse que en esta zona jamás lleguen a presentarse infiltraciones, por el contrario, si estas rocas dentro del área del vaso se encuentran en contacto con rocas permeables es necesario saber en qué forma se presentan esos contactos y cuál sería su influencia en el almacenamiento de las aguas. En este caso los caminamientos se harán siguiendo justamente esos contactos, observando la presencia de manantiales u otras caracte-

rísticas que nos hablen del comportamiento de las aguas a profundidad.

En general, lo ideal al estudiar el área que será inundada por las aguas es llegar al conocimiento preciso de las condiciones geohidrológicas reinantes en esa área.

En lo que respecta a los bancos de préstamos, debemos buscar a proximidad inmediata del sitio de construcción, un volumen suficientemente grande de materiales roca y materiales arcillo-arenosos susceptibles de ser empleados en la construcción. Entre los sitios posibles donde pueden ser encontrados estos materiales citaremos: para arcilla y arena algunas del río, y aquellas áreas donde la porción superficial de la zona alterada sea muy grande, estas últimas son reflejadas topográficamente por tener formas más o menos arredondadas o relativamente planas. Para roca, los afloramientos de ésta que se tengan a proximidad, (deberá señalarse la magnitud del afloramiento y las características estructurales y de textura que presenta además del grado de alteración y si es posible explotarla en grandes bloques), algunas veces puede también explotarse el mismo acarreo del río si se trata de acarreo grueso, algunos derrumbes si son de dimensiones considerables y pequeños conos de deyección.

Informe Geológico Preliminar.

El estudio o reconocimiento preliminar es objeto de un informe geológico en el que serán desarrolladas todas las observaciones anteriores citadas y de las que se pueden sacar las conclusiones siguientes:

1o.—Hay o no hay posibilidades de construcción. Si no hay, señalar:

- a).—Condiciones Geológicas.
- b).—Condiciones Topográficas.
- c).—Condiciones Hidrológicas y Geohidrológicas.
- d).—Condiciones Económicas.

Si hay, señalar la existencia de uno o varios sitios posibles de construcción definidos por:

- a).—Cantidad de agua suficiente.
- b).—Capacidad del vaso.

- c).—Características topográficas del o de los sitios.
 - d).—Vaso constituido por terrenos impermeables.
 - e).—Calidad de la roca en la zona de cimentación.
 - f).—Existencia de materiales de construcción.
 - g).—Condiciones económicas favorables para el establecimiento de la estructura.
- 2o.—Recomendaciones sobre los estudios detallados que hay que realizar con el objeto exclusivamente geotécnico.
- a).—Elección del sitio.
 - b).—Métodos de reconocimiento (túneles, pozos a cielo abierto, trincheras o perforaciones con máquina, señalando a la vez el espaciamiento, profundidad y distribución que deben llevar las exploraciones).
 - c).—Estudios en el área del vaso.
- 3o.—Duración aproximada de los estudios por realizar.
- 4o.—Valor aproximado de los estudios.

A reserva de la nueva información que sea obtenida en estudios posteriores, en este informe preliminar se puede señalar el tipo de estructura que conviene al sitio, sea una estructura rígida (cortina de mampostería o de concreto) sea una estructura deformable (cortina de tierra o enrocamiento).

Estudios Detallados.

Una vez discutido el informe geológico preliminar, se procederá a la realización del programa de exploraciones establecido, en el sitio elegido. Estas exploraciones según la importancia de la obra y la complejidad del sitio podrán ser hechas por medio de perforaciones con máquina, pozos a cielo abierto, trincheras o túneles.

En lo que respecta a las perforaciones con máquina, éstas deberán concentrarse sobre un mismo perfil transversal con un espaciamiento tal que nos permita conocer con precisión el perfil de la roca sana donde deba ser desplantada la estructura. No es posible dar un valor fijo para los espaciamientos puesto que cada obra o cada sitio presenta un problema particular.

De la misma manera en lo referente a la profundidad tampoco pueden establecerse reglas precisas pudiendo decir únicamente que cada perforación deberá penetrar cuando menos de dos a cinco metros en la roca sana siempre y cuando no se espere encontrar a mayor profundidad rocas de deficiente calidad.

Cuando se ha precisado con las perforaciones el perfil transversal de un sitio, los Ingenieros pueden preguntarse si desplazándose hacia aguas arriba o hacia aguas abajo no se encontraría un volumen menor de excavaciones, en este caso y partiendo del conocimiento geológico que se tenga del área en estudio, se estudiará un nuevo perfil transversal comenzando por el punto donde se supone se encuentre la roca a una mayor profundidad, lo que conduciría a no continuar la exploración de este perfil, si encontramos la roca a una profundidad mayor que en el eje originalmente estudiado.

No es conveniente dispersar los sondeos a distancias variables aguas arriba o aguas abajo del primer perfil puesto que no conduce a nada, sino proceder en la forma que anteriormente hemos citado.

Aunque en la gran mayoría de los casos las perforaciones con máquina son verticales, no quiere esto decir que siempre así lo sean ni tampoco que siempre sean realizadas a partir de la superficie. Estas perforaciones pueden también ser inclinadas, horizontales e inclusive verticales hacia arriba, pudiendo realizarse o del interior de un pozo a cielo abierto o lumbrera o bien del interior de un túnel.

(Señalo que para la realización de perforaciones con una fuerte inclinación, horizontales o verticales hacia arriba las únicas perforaciones susceptibles de ser empleadas son las de rotación provistas o con corona de diamantes o con corona de prismas).

Reconocimiento por medio de pozos a cielo abierto y por trincheras.

Cuando la roca firme se encuentra cubierta por suelos de poco espesor, por derrumbes o por material residual producto de su alteración conviene efectuar pozos a cielo abierto y trin-

cheras con objeto de realizar observaciones, como si se tratara de un afloramiento.

Los pozos a cielo abierto son excavaciones de 1.50 a 2.00 m. de diámetro llevadas a 2.00 ó 3.00 m. en la roca firme después de atravesar la costra superficial de tierra vegetal o roca alterada. Las trincheras son excavaciones longitudinales que permiten como los pozos a cielo abierto la observación directa de la roca.

La realización de trincheras conviene de una manera particular en los sitios donde observamos presencia de fallas o contactos irregulares de dos formaciones o rocas muy diferentes. Estas trincheras que pueden tener varios metros de longitud se hacen generalmente según la dirección de la falla o contacto y de una anchura determinada por la amplitud de la zona de trituración de la falla. Algunas veces estas trincheras se hacen en forma de T o en forma de cruz. Como los pozos a cielo abierto deben hacerse penetrar en la roca sana de dos a tres metros.

Tanto los pozos a cielo abierto como las trincheras vienen a completar o reducir el número de perforaciones con máquina. Puede darse el caso de que un sitio presente una geología tan simple y sin problemas que necesita como única exploración la realización de pozos a cielo abierto y de trincheras.

Reconocimiento por medio de Túneles o Socavones.

En boquillas de taludes con fuertes pendientes donde la complejidad geológica del sitio y la magnitud de la obra revisten cierta importancia, es conveniente completar las exploraciones por medio de túneles. Estos túneles como los pozos a cielo abierto y las trincheras suministran información precisa tanto sobre las características litológicas y estructurales de la roca como sobre el espesor de la zona alterada y el material de derrumbe. Servirán además para la realización de las pantallas de inyección y si es necesario para efectuar otros sondeos de reconocimiento.

Respecto a su localización el señor Profesor Lugeon (*) dice que conviene efectuar uno o dos túneles en el mismo sentido que el eje de la cortina. Uno muy cerca del nivel medio del río y otro en la parte media de la altura del muro siempre que se trate de presas con una altura mayor a los 30 m.

(Esto en lo que respecta a la boquilla).

En la zona del vaso, si consideramos en el reconocimiento geológico preliminar que en uno o varios puntos determinados, podían presentarse infiltraciones, debe procederse a efectuar exploraciones con el fin de determinar cuáles son las condiciones de permeabilidad. Ya decía anteriormente, que lo más indicado en la zona del vaso, es conocer las condiciones geohidrológicas reinantes.

Las exploraciones en el sitio donde sean encontrados los bancos de préstamos consistirán en una serie de pozos a cielo abierto o perforaciones formando retícula que nos informarán acerca del volumen de materiales disponibles (Esto en lo que se refiere a los materiales arcillo-arenosos).

De los materiales que se utilizarán, ya como enrocamiento, ya como agregado del concreto, se tomarán las muestras más representativas del sitio de posible explotación, para que más tarde sean estudiadas en el laboratorio, donde se determinarán algunas de sus propiedades físicas y su grado de alterabilidad.

El conjunto de estudios detallados nos ha permitido definir el sitio de posible construcción más económico y un informe geológico deberá ser presentado a los Ingenieros para el proyecto y diseño definitivo de la presa o cortina que se vaya a construir.

El texto de este informe deberá comprender:

- 1.—Una descripción de la Geología Regional.
- 2.—Una discusión detallada de cada tipo de roca encontrada en la zona de cimentación, condiciones estructurales (diaclasas, fallas, zonas de trituración, etc.) y su influencia en la estabilidad y permeabilidad de la obra.

(*) Lugeon M. 1933. Barrages et Geologic. Lausanne, Suiza.

- 3.—Una discusión de los perfiles geológicos determinados por datos tanto de la superficie, como del subsuelo.
- 4.—Una discusión de las condiciones geohidrológicas y de impermeabilidad del vaso.
- 5.—Una discusión completa de la estabilidad de los taludes en la zona de cimentación.
- 6.—Una descripción completa de los materiales de construcción mencionando distancia al lugar de aplicación, volumen y resultado de las pruebas de laboratorio.

(Antes de seguir adelante discutiendo los puntos que deben ser tratados en el informe geológico, quiero hacer mención brevemente de algunas características de los materiales empleados en la construcción. Hablaremos primero de los agregados del concreto).

Como la calidad del concreto depende en gran parte del agregado, hay que tratar de obtener siempre materiales que cumplan las condiciones siguientes:

- Que den lugar a la formación de un concreto que no sea atacado por la alcalinidad de ciertas aguas.
- Que no reaccionen con los elementos químicos del cemento.
- Que posean una calidad tal que el agregado pueda resistir a la dilatación y contracción producidas por la acción de los agentes atmosféricos.

En general para la construcción de una presa de concreto es recomendable utilizar materiales más resistentes que se rompan en fragmentos poliédricos y que no dejen residuo arcilloso en el momento de romperlos, materiales menos resistentes o relativamente alterables pueden ser empleados a condición de evitar toda circulación de agua por medio de una granulometría y de una dosificación de cemento juiciosas, buscando siempre una buena adherencia entre el cemento y el agregado.

Para tales presas: presas de gravedad, presas de arco, etc., los materiales a utilizar son: el basalto que no deja residuo arcilloso y que se rompe en fragmentos poliédricos, la cuarcita, la que desgraciadamente debido a su elevada dureza es

de difícil aplicación, el granito que es fácilmente triturable pero que produce si es muy rico en feldespatos, una adherencia deficiente a causa de sus alteraciones, las dolomitas puras y sobre todo las calizas cristalinas pues la adherencia de la calcita con los cementos ordinarios es excelente, las areniscas compactas sobre todo si se encuentran en bancos gruesos, los pórlidos no alterados y en particular aquellos que tienen textura vítrea, las antibelias nomicáceas y finalmente los aluviones. Estos últimos sin residuo arcilloso pero como dice Cleret De Langavant (*) en ciertos ríos son de un grosor uniforme teniendo que mejorar la granulometría agregando arenas de trituración.

Las rocas porosas y principalmente las rocas arcillosas pueden ser consideradas como poco utilizables como agregados del concreto, ya que las condiciones de saturación del concreto en contacto con la roca porosa traen como consecuencia la desintegración de los materiales debido a los cambios de temperatura; los materiales arcillosos favorecen igualmente la desintegración del concreto.

Si se trata de presas de enrocamientos, donde la roca es utilizada en fragmentos gruesos es necesario conocer el grado de alterabilidad siendo conveniente que las dimensiones de la aureola alterada o alterable sea despreciable con respecto a la dimensión del fragmento.

Las rocas de antiguos derrumbes nos proporcionan una buena información sobre la resistencia de estas rocas a la acción de los agentes atmosféricos.

El examen microscópico de láminas delgadas puede permitirnos en parte definir la alterabilidad de los minerales ya que si existe una trituración de los cristales por ejemplo la impregnación capilar acelera la alteración.

En general todas las rocas ígneas cristalinas pueden ser consideradas como utilizables en la construcción de presas, ya sea como agregados del concreto o sea como enrocamiento

(*) "Ciments et Bétons" propriétés en emplois Coll. Armand Colin No. 287, París.

con la condición, de que los feldespatos no estén alterados y que la roca no contenga ni piritas ni abundancia de mica.

Rocas como los esquistos que se alteran en presencia del aire, los gneisses micáceos, los micaesquistos y las anfibolitas micáceas no son propias para ser utilizadas en la construcción. En efecto estas rocas se fracturan dando un residuo arcilloso además de que se rompen fácilmente en láminas.

Las rocas que en el momento de explotarse se fraccionan con abundancia de astillas y de polvo deben ser excluidas.

7.—Un resumen de las ventajas que presenta el sitio con respecto a otro y la proposición del tipo de cortina que se puede construir.

8.—Recomendaciones sobre las obras por realizar. (Entre las recomendaciones sobre las obras por realizar, pueden citarse aquellas referentes: 1.—A los trabajos de limpieza y excavación en el sitio de cimentación de la cortina y de otras obras auxiliares, por ejemplo, el vertedor de demasías. 2.—A los canales o túneles para las obras de derivación. 3.—A los trabajos de inyección y en general de consolidación y de impermeabilización de la cimentación.

Complementando el texto anteriormente citado, el informe geológico deberá comprender las ilustraciones siguientes:

- 1.—Carta geográfica y topográfica de localización del área.
- 2.—Carta geológica detallada si así lo amerita la importancia de la obra.
- 3.—Uno o varios perfiles geológicos.
- 4.—Cortes geológicos de las perforaciones, pozos a cielo abierto y galerías realizadas indicando las pruebas efectuadas (pruebas de permeabilidad por ejemplo) y todas las anomalías observadas (porcentaje de muestras recuperadas, grado de fracturamiento, pérdida del agua de enjuague o aparición de aguas subterráneas o artesianismo).
- 5.—Carta o plano de localización de todas las exploraciones realizadas.

6.—Plano de localización de los bancos de préstamos y

7.—Una serie de fotografías de la boquilla del vaso y de todos aquellos sitios que presenten un interés geológico propiamente constructivo.

Es ésto sin entrar en mayores detalles lo que puede ser tratado en un informe geológico.

Algunas características y particularidades de las rocas y su influencia en el establecimiento de una presa.

Procurando no repetir algunas de las ideas expuestas esta mañana por el señor Ingeniero don Manuel Alvarez Carvajal, quisiera referirme a algunas características y particularidades de las rocas, en la zona de cimentación de la cortina y del vaso, que tengan influencia en la realización de la obra. Iniciaré pues por hablar de las características estructurales.

Las condiciones estructurales no son siempre favorables a la construcción de una presa en un sitio determinado.

En el caso de rocas sedimentarias aquellas donde el echado es hacia aguas arriba pueden considerarse como las más apropiadas tanto desde el punto de vista de la estabilidad, como de la impermeabilidad.

Un caso menos favorable es el de rocas con echados hacia aguas abajo (se supone que estas rocas tienen un rumbo paralelo al eje de la cortina) o verticales, ya que pueden romperse al cisalleo y permitir además infiltraciones, lo que presenta problemas de difícil y costosa solución. El problema es aún más grave cuando rocas de magnífica resistencia se encuentran interstratificadas con materiales arcillosos, ya que hay posibilidades de deslizamiento a lo largo de estos planos que podemos considerar de debilidad.

Las capas horizontales ofrecen en general buenas condiciones de estabilidad, pero pueden sin embargo dar lugar a infiltraciones.

Uno de los casos más desfavorables es aquel donde las capas presentan un rumbo paralelo al curso del río, es decir, normales a la cortina, ya que constantes derrumbes e inclusive deslizamientos de tierra hacen extremadamente difícil la cons-

trucción. Es ésto en general lo que puedo decir acerca de algunas de las características estructurales.

Pasemos ahora a discutir algunos de los principales tipos de roca, empezando por aquellas deleznales y plásticas. Las rocas deleznales y plásticas son sin duda las más difíciles de tratar en la zona de cimentación de una cortina, pues ellas implican un estudio muy detallado de su disposición estratigráfica así como numerosas pruebas de campo y laboratorio, tanto sobre sus propiedades mecánicas, como sobre su composición y su permeabilidad.

Este tipo de rocas está constituido por las arcillas, los limos, las arenas y las gravas.

En lo que respecta a las arcillas, del punto de vista mecánico son rocas impermeables y muy compresibles cuando se les aplica una carga, sus propiedades mecánicas son dependientes del contenido de agua, del arreglo y de la estructura de las partículas constituyentes, así como de su composición mineralógica.

Por ejemplo, una arcilla con un contenido de agua cercano a su límite líquido es susceptible de presentar un escurrimiento plástico en el momento de aplicarle una carga. Si se tiene en cuenta que la compresibilidad de las arcillas es un fenómeno debido a la expulsión del agua que separa las partículas arcillosas, arcillas con un contenido de agua muy elevado son muy compresibles, de una manera particular cuando se encuentran en contacto con mantos permeables.

En cuanto a su composición las arcillas del tipo de la bentonita, que tiene una gran avidez por el agua, tienden a inflarse a su contacto. Estas mismas arcillas o las montmorilonitas tienen propiedades diferentes a las del caolín.

En lo que respecta a los materiales, como las arenas, los limos y las gravas, igualmente con las arcillas, es indispensable conocer con precisión su arreglo y distribución estratigráfica. Estas características tienen una influencia preponderante en la permeabilidad del depósito. En los depósitos de origen aluvial constituidos por estos materiales, la permeabi-

lidad es más grande en el sentido horizontal que en el sentido vertical, lo que es debido a la disposición en capas de los aluviones.

Lutitas y Margas.—Las lutitas, arcillas endurecidas y transformadas, aunque menos compresibles que las arcillas, tienen características semejantes. Son éstas, rocas que pueden alterarse e inflarse al contacto del agua, sin embargo, si no están alteradas tienen una resistencia al esfuerzo cortante y a la compresión más grande que la arcilla, pues son más duras y compactas a causa de su menor contenido de agua.

Algunas lutitas que parecen excelentes en el curso de realización de una perforación, en el momento de ponerlas en contacto con el agua se pulverizan instantáneamente. Esta característica es notable sobre todo en las lutitas bentónicas.

Para determinar su comportamiento, es necesario hacer pruebas de laboratorio tanto sobre su compresibilidad y resistencia al esfuerzo cortante, como su alterabilidad.

Las Margas, lutitas ricas en carbonato de calcio, son rocas de una calidad superior a la de las lutitas, no obstante algunas veces son muy alterables, compresibles y susceptibles de hincharse a pesar de su masa compacta y de su dureza.

Las Calizas.—En las calizas densas no fracturadas puede fácilmente construirse una presa con éxito ya que la gran mayoría de ellas tienen una resistencia tan grande como el concreto. Son estas rocas ciertamente, dicen Gignoux y Barbier, (*) en las cuales el volumen de excavación es reducido al mínimo (por supuesto después de haber limpiado el material de derrumbes que puede ser muy grueso. Desgraciadamente se les encuentra con mucha frecuencia interestratificadas con otro tipo de rocas o carsificadas.

Desde el punto de vista de la estabilidad, pueden considerarse satisfactorias si no son defectuosas, (afalladas, fracturadas, etc.) y no están interestratificadas con rocas compresibles, si las condiciones estructurales son favorables.

(*) "Géologie de barrages et des Aménagements hydrauliques".
Masson et Co. París.

Cuando se hable de un terreno calcareo hay que pensar en rocas que presentan fracturas o diaclasas producidas por acción tectónica, deformadas, afalladas, en fin con todas las características que presenta una roca sujeta a esta acción. Además si tales terrenos se encuentran en una región húmeda, la acción erosiva de las aguas subterráneas y su poder disolvente pudo haber producido un agrandamiento de las facturas, planos de estratificación y diaclasas, formar cavernas y dar lugar a un terreno con topografía del tipo de Karst. En las calizas, simples fracturas superficiales pueden esconder enormes cavidades en el subsuelo. La presencia de calizas y de dolomitas cavernosas es la principal cosa que hay que temer, a causa de las infiltraciones, en el perímetro que debe ser inundado por las aguas del vaso.

A este respecto el estudio geológico del área del vaso y de los valles vecinos debe ser lo más preciso posible, ya que es necesario determinar el aspecto tectónico de las rocas a fin de reconocer si existe posibilidad de escurrimientos subterráneos de las aguas del vaso o hacia aguas abajo de la cortina proyectada o hacia un valle vecino si es que se encuentra a una elevación menor.

En estos casos uno de los factores más importantes es determinar la situación y profundidad de la primera capa impermeable abajo de las rocas fisuradas, lo que permitirá determinar o no las infiltraciones fuera del vaso.

Cuando los terrenos calcareos tienen un drenaje superficial muy pobre desprovistos o no de vegetación y en una región húmeda lo más probable es que haya circulación de aguas subterráneas, sobre todo si hay manifestaciones superficiales. Sin embargo, los testigos más significativos y más espectaculares de estas circulaciones, dicen también Gignoux y Barbier, (*) son naturalmente las fuentes o resurgencias que salen de esos macizos. Si ciertas de estas fuentes, continúan diciendo, están situadas a cotas inferiores a las del vaso, sea en el valle principal aguas abajo de la presa, sea en los

(*) Op. Cit.

valles vecinos, habrá no una certeza absoluta, pero sí un gran riesgo de pérdida; evidentemente llenar la presa totalmente de agua no traerá ningún riesgo de disolver las calizas y de crear nuevas redes de circulación, pero sí puede poner en actividad redes preexistentes a veces totalmente secas y parcialmente selladas con material arcilloso proveniente del exterior.

Yesos y Anhidrita.—Los yesos y particularmente las anhidritas a causa de su tendencia a transformarse en yeso son rocas terribles por decirlo así en el sitio de construcción de una presa, tanto en lo que respecta a su permeabilidad como a su estabilidad. En estas rocas igualmente que en las calizas se forman enormes fracturas agrandadas por disolución y enormes cavernas que vuelven imposible la construcción de una presa de almacenamiento por el costo elevado de impermeabilización. Por otra parte no hay que olvidar que las aguas en contacto con rocas sulfatadas (como es este el caso), aguas selenitosas ejercen una acción muy agresiva sobre los cementos ordinarios del tipo Portland.

Las Areniscas.—Independientemente de las características estructurales que presente un cuerpo de areniscas su resistencia mecánica en la construcción de una presa depende tanto de la homogeneidad y naturaleza de los granos, como del material cementante y del grado de cementación.

Teniendo en cuenta que el cuarzo es un mineral indeformable y que sólo presiones muy elevadas pueden triturarlo, las rocas formadas de este material como es el caso de la mayor parte de areniscas, ofrecen las mejores condiciones de estabilidad. Por otra parte su misma naturaleza granular les da un ángulo de fricción interna muy elevado. Sin embargo, en aquellas areniscas donde el cementante, abundante, está constituido de arcilla o carbonato de calcio, materiales deformables, puede producirse un desplazamiento de los granos bajo la acción de fuertes presiones. Igualmente en las areniscas interstratificadas con lutitas, la superficie de contacto es una zona potencial de deslizamiento si hay circulación de agua en el cuerpo de la roca; en el contacto con la lutita el agua

produce en efecto, una acción lubricante como consecuencia del reblandecimiento de la arcilla. Una arenisca en estas condiciones, sujeta a la acción de una carga puede presentar como las lutitas, problemas de deslizamiento o de asentamiento.

En general las areniscas son rocas favorables en el sitio de cimentación de la cortina de una presa, salvo si están fracturadas o interestratificadas con materiales arcillosos.

Discutiremos ahora algunas de las características de las rocas ígneas, empezando por las rocas intrusivas.

Rocas Ígneas Intrusivas.—Aunque el granito y en general las rocas cristalinas sean ideales del punto de su impermeabilidad, no pasa lo mismo con estas rocas en el área de cimentación de la cortina. Su gran facilidad para descomponerse y alterarse bajo ciertas condiciones, como consecuencia de su desarrollo cristalino, presentan a menudo en la construcción graves problemas debidos a la gran profundidad de la zona alterada.

Las rocas cristalinas son atacadas por los agentes atmosféricos tanto mecánicos como químicos. Ahora bien, la profundidad y la extensión de estos agentes depende de varios factores, entre los cuales los más importantes son: espaciamiento entre fracturas o diaclasas, grado de microfracturación de los minerales constituyentes e historia fisiográfica avanzada.

En un área de fisiografía avanzada, la descomposición es más importante si las pendientes en general son más suaves.

La acción destructiva de los agentes atmosféricos comienza por una alteración producida a lo largo de las fracturas y diaclasas, en las rocas masivas y se continúa por la destrucción progresiva de los elementos cristalinos, los feldespatos y sobre todo las micas.

En las rocas cristalinas, las zonas que pueden afectar desfavorablemente el sitio de una presa, fuera de las zonas alteradas, son las zonas de falla fuertemente trituradas y las zonas fracturadas.

Rocas Volcánicas.—Los problemas presentados por estas rocas (basalto, riolita, andesita, etc.) resultan de la presencia

de rocas de diferente naturaleza intercaladas entre las corrientes del agua, problema sobre todo notable en los basaltos, donde es agravado por el gran número de fracturas de enfriamiento y por las zonas de contacto escoriáceos. La construcción de presas en terrenos basálticos exige primeramente la determinación del nivel de aguas freáticas con respecto al curso de agua y al nivel máximo de futuro almacenamiento, así como el estudio de las condiciones estructurales y topográficas que controlen el escurrimiento de los mantos acuíferos.

En aquellos sitios donde el río escurre a un nivel superior al nivel de aguas freáticas habrá riesgo de pérdidas muy importante, por consiguiente hay que descartar todo proyecto de construcción. Por el contrario, si el nivel de aguas freáticas se encuentra a un nivel superior a aquel del futuro almacenamiento, hay la posibilidad de que el vaso sea impermeable.

Las rocas piroclásticas, dependiendo del grado de consolidación presentan por su naturaleza problemas semejantes a los de las arenas arcillas y lutitas.

Rocas Metamórficas.—Las rocas metamórficas son aquellas rocas preexistentes que han sufrido transformaciones bajo la acción de efectos térmicos, dinámicos o químicos.

Rocas metamórficas de origen sedimentario si tectónicamente no han sido muy alteradas, ofrecen condiciones satisfactorias para efectuar una cimentación. Los esquistos cristalinos que tienen un gran número de fisuras y una foliación muy delgada, si no son micáceos pueden también considerarse como buenos en el sitio de construcción. Los esquistos micáceos tienen la desventaja de alterarse fácilmente al contacto del aire y del agua.

En los esquistos la dirección de la esquistosidad es bastante importante, el caso menos favorable para efectuar una construcción sobre ellos, es el de la esquistosidad que tiene una dirección normal al eje de la estructura pues existe posibilidad de deslizamiento a lo largo de los planos de esquistosidad; por el contrario los esquistos con una foliación paralela al eje de la estructura presentarán buenas condiciones de estabilidad.

Reconocimiento Geológico en la zona de construcción de las obras de conducción y distribución.

En una forma muy vaga hablaré a ustedes del reconocimiento geológico realizado en las obras de conducción y distribución. Dicho reconocimiento consiste en observar a lo largo de los canales previamente localizados las formaciones geológicas existentes señalando si tales formaciones pueden por su naturaleza, dar lugar a pérdidas por infiltraciones. Por otra parte, si un canal, por ejemplo, está localizado en flanco de montaña, deberá observarse si ocasionalmente pueden presentarse deslizamientos o derrumbes que sean un inconveniente para el buen funcionamiento de la obra. Si la construcción de túneles es necesaria deberá hacerse un minucioso estudio geológico que nos hable de las condiciones existentes en el área.

Hemos visto en estas dos breves e incompletas pláticas cuáles son los Estudios Geológicos que deben realizarse en la construcción de una presa; puede pues sacarse en conclusión que para llegar siempre al éxito, tales estudios deben ser precisos, profundos y detallados, ya que una presa a veces de aspecto monumental así lo requiere.

Para terminar repetiré palabras del señor Profesor Lugeon, (*) que habiendo vivido sus ratos más alegres e interesantes, según él, en la construcción de presas, dice: "UNA PRESA NO ES UN OBJETO MUERTO. ES UN ORGANISMO VIVIENTE QUE TUVO SU NACIMIENTO Y COMO TAL TENDRA SU MUERTE, MUERTE POR VEJEZ Y POR CONSIGUIENTE POR ENFERMEDADES, O MUERTE POR ACCIDENTE SI SE DEBILITO, ESTUVO MAL CONSTRUIDA O MAL ALIMENTADA".

"ES UN ORGANISMO QUE PIDE NECESARIAMENTE CUIDADOS, TANTOS MAS PUESTO QUE ES UN OBJETO QUE VINO A PERTURBAR LAS LEYES NATURALES Y LAS FUERZAS DE LA NATURALEZA, SE ENSAÑAN PARTICULARMENTE CON AQUELLO QUE PARA ELLAS ES UN OBSTACULO. LO ESENCIAL DESDE EL PUNTO DE VISTA HUMANO ES QUE PUEDAN RESISTIR AL TIEMPO, YA QUE CONSIDERADAS GEOLOGICAMENTE NO SON SINO COSAS PASAJERAS".