

# Instrumentación geológica en la construcción de presas en España.

Por JOSE MARIA VALDES

Ingeniero de Caminos y Director del Servicio  
Geológico de Obras Públicas.

## I

La celebración del VII Congreso Internacional de Grandes Presas, que próximamente se reunirá en Roma, nos depara una ocasión para reflexionar. Quizá no aportemos elementos de trabajo, pero nos vemos en el caso de aprovechar aquel acontecimiento para meditar sobre él y discurrir acerca de un tema que tiene conexión muy directa con el programa del Congreso.

¿Cómo se contempla en España el aspecto geológico en la construcción de las presas; qué se ha hecho en este campo, desde cuándo y de qué modo. Qué organización o instrumento en funciones existe para afrontar tan trascendental problema?

La construcción de presas en España tiene rancio abolengo. Su posición geográfica, su clima, su hidrografía, obligaron al hombre a regular el aprovechamiento de los ríos españoles, utilizando para ello todos los recursos de que disponía en cada época. Así, nos quedan, como recuerdo de la actividad constructiva romana, las presas de Cornalbo y de Proserpina, que se destinaban al abastecimiento de agua a Mérida; después, los dispositivos de riego de los árabes, y ya en los siglos XIV al XVI las importantes presas de Almansa, Tibi, Elche, antecedentes de las de Puentes, Níjar, Pontón de la Oliva, Villar, etc. La escasez del agua hizo que España fuese precursora en la técnica de las primeras presas reguladoras y la misma penuria hidráulica y la necesidad de energía eléctrica después, explican cómo España sigue en primera línea entre las naciones de todo el mundo, en cuanto al número absoluto y relativo de sus presas de embalse.

Aunque no hay duda de que los grandes constructores de obras dieron siempre suma importancia al terreno de cimentación y adoptaron, en general, disposiciones que revelan un buen sentido o un delicado instinto, también es cierto que la ciencia geológica, estructurada como tal, cuenta apenas dos siglos.

En este tiempo, su progreso ha sido muy rápido, pero, aun así, a pesar de ser la ciencia del terreno que pisamos, puede decirse que está en mantillas y que es en estos últimos cincuenta años cuando nuevas y brillantes ideas permiten adivinar un porvenir luminoso para esta Ciencia.

En la literatura profesional española es fácil encontrar, ya a fines del siglo pasado, memorias y estudios de Ingenieros de Caminos que daban gran realce al problema geológico en su aplicación a las obras, y es de notar

cómo en dichos trabajos, así como también en algunas disposiciones reglamentarias dictadas en aquel tiempo, se contienen ideas y observaciones atinadísimas que parecen el embrión de conceptos muy modernos sobre estos temas.

De todas las obras que se construyen sobre el terreno, aquellas que dependen más directamente de la Geología y en las que se acusa con más clara evidencia la necesidad de su estudio son las presas de embalse. Ya se advertía a principios de este siglo que en muchas de tales obras se presentaban problemas graves relacionados con el terreno, y el Estado español iba solucionándolos mediante el nombramiento de Comisiones de expertos para cada caso particular. Este sistema adolecía del inconveniente de no ofrecer continuidad, ni aprovechar los estudios hechos para formar criterio, ya que las Comisiones que se formaban eran disueltas al término de su trabajo.

La necesidad, cada vez más sentida, de contar con un organismo permanente que actuase de modo eficaz, llevando un criterio geológico a la construcción de las obras, especialmente las hidráulicas, movió al Ministerio de Obras Públicas a sustituir aquel sistema de Comisiones especiales y creó, en el año 1926, con carácter permanente, una Comisión de Estudios Geológicos y una Jefatura de Sondeos, las cuales, de modo oficial, tendrían a su cargo el examen del aspecto geológico en los proyectos de importancia o dificultad, los reconocimientos del terreno y, en definitiva, el informe que de uno y otros se dedujera. En aquella Comisión, denominada después Asesoría Geológica, se reunieron especialistas destacados en geología aplicada, en hidráulica, en construcción, profesionales de reconocida experiencia, que había formado en ellos un criterio sólido y despierto. Más adelante, apreciada la conveniencia de dar a estos organismos mayor flexibilidad y más amplio alcance al rendimiento de su labor, cada vez más compleja y extensa, fueron integrados en uno solo, el Servicio Geológico de Obras Públicas, al cual están encomendados hoy el estudio geológico y los reconocimientos que requieran dichas obras.

El núcleo de este Organismo lo forman un Director, un Subdirector, 12 Ingenieros, 18 Ayudantes y el correspondiente personal administrativo y auxiliar. La Asesoría Geológica que, dentro del Servicio Geológico, estudia e informa los asuntos de importancia, está constituida por un grupo de especialistas en diversas disciplinas, destacados profesionalmente y de distintas procedencias.

Es de excepcional interés el constante contacto de este Servicio con todos los Organismos que tienen 2 su

cargo las obras; indispensable, que la asistencia geológica se preste no sólo durante el estudio del proyecto y la ejecución de aquéllas, sino que hay que procurar la presencia del experto geólogo al bosquejarse el anteproyecto. Que acompañe al Ingeniero proyectista cuando se inician las ideas, quizá en el primer recorrido de aquél por el río. Es el momento más trascendente, cuando el acierto o el error de una solución puede depender de un consejo oportuno.

Para cumplir esta finalidad con certeza, se ha previsto que el Servicio Geológico tenga dependencias destacadas en lugares estratégicos del país, desde donde la relación inmediata con los Ingenieros proyectistas y constructores sea una realidad.

Con tal disposición, el aspecto geológico de las obras puede estar muy cuidado y todos los Servicios asistidos y asesorados oportunamente, circunstancia esta última de gran valía, ya que el estudio geológico hecho a tiempo siempre ahorra dinero y proporciona garantías; de otro modo, puede ser poco eficaz y a veces inútil.

Es muy interesante señalar que esta organización facultativa dispone también de un instrumento de acción que permite desarrollar inmediatamente, en cualquier obra, de cualquier punto de España y en todo momento, los planes de reconocimiento y ensayo que se juzguen oportunos.

Es un instrumento de trabajo que cuenta hoy con más de 200 mecánicos-sondistas, en sus distintas categorías de Maestro Sondista, Jefe de equipo, Sondista 1.º, Sondista 2.º, Aprendiz adelantado y Aprendiz, en cuyo escalafón los ascensos por antigüedad afectan exclusivamente a los emolumentos, mientras los ascensos de categoría son por conocimientos y méritos, aquilatados por el personal facultativo a cuyas órdenes haya trabajado el Sondista.

Se ha conseguido formar un nutrido cuadro con personal excepcionalmente competente, disciplinado, sincero, entusiasta y con elevado espíritu, lo que redundará en la calidad del trabajo y en la seguridad de vencer las dificultades que éste suele presentar, ya que casi siempre se realiza en lugares incómodos, alejados, donde quizá se llega por primera vez.

Una de las causas que más han contribuido a este resultado es haberles demostrado la importancia del papel, a veces trascendental, que un buen sondista desempeña en todo el proceso que significa la elaboración de un proyecto y la feliz terminación de una obra.

En fecha muy próxima, comenzará una nueva etapa para este Cuerpo seleccionado. Dentro de muy pocos meses se terminará y entrará en funciones la Escuela de Sondistas. Seguramente será, en su género, una de las más completas e interesantes que exista en cualquier parte.

La categoría alcanzada en este trabajo y el afán de perfeccionar sus sistemas, aconsejaron la creación de dicha Escuela; hace mucho tiempo planteada, va a ser ahora una realidad y esperamos de ella felices resultados.

Se conseguirá una completa formación cultural y

profesional de los sondistas, se metodizarán los criterios, se mantendrán al día los conocimientos, se establecerán frecuentes intercambios y coloquios de gran interés.

El Parque del Servicio Geológico dispone de material abundante y moderno. Más de 300 sondas y equipos de inyección, de distintas clases y aplicaciones, con sus motores, bombas, tuberías, testificadores, material auxiliar, compresores, equipos electrógenos, etc., están en constante funcionamiento en numerosos lugares del país, asistidos por un importante Taller central, que atiende con asiduidad al mantenimiento de los equipos del campo y también construye sondas y otras máquinas especiales, diseñadas por los técnicos del Servicio, para determinadas características.

Cuando se estima oportuno, o por necesidad circunstancial, se procura la cooperación de equipos de trabajo de empresas privadas, que se unen a los del Servicio Geológico, bajo la dirección y control de éste.

Se dispone también de un Laboratorio, donde se realizan muy interesantes ensayos propios, aunque se está en constante relación con los Laboratorios de la Escuela de Ingenieros de Caminos.

Una sección de Geofísica realiza trabajos a la par con los sondeos mecánicos y se puede con ello evitar la ejecución de algunos de este tipo, o bien complementar el estudio con nuevos datos. La utilización simultánea de ambos sistemas, resulta de verdadera eficacia.

Todo cuanto hemos reseñado, presenta al Servicio Geológico como órgano vivo, como instrumento de que dispone el Ministerio de Obras Públicas para cultivar esta vigorosa rama de la Geología que constituye la Geología Aplicada a las Obras y que cada día adquiere mayor relieve, a medida que los progresos de la técnica constructiva obligan a aceptar situaciones más complejas y difíciles y a tenor también de que mayores avances en el conocimiento del terreno nos llevan a percibir nuevas lagunas de ignorancia que incitan a mayor esfuerzo e interés en el estudio.

El Servicio Geológico, en progresión creciente durante los treinta y cinco años que cuenta, ha realizado una labor copiosísima y, a lo largo de más de 1500 estudios efectuados, no solamente ha adquirido una gran experiencia en los distintos aspectos que interesan en este campo, sino que, en el curso de ese largo tercio de siglo, ha procurado sedimentar sus dilatadas meditaciones sobre los trabajos en curso, que, aun siendo tan diversos, tienen constantes comunes, las ideas que van clareando el juicio y serenando la ansiedad del espíritu inquieto, con hallazgos que son garantía de futuras aportaciones.

## II

Mucho más que los trabajos en sí mismo, interesan las ideas que de ellos nacen, los conceptos que se renuevan y se afinan. Y cuando esto se aplica a las grandes presas, verdaderos monumentos del arte ingenieril, donde se juegan intereses cuantiosísimos y se evoluciona con ritmo creciente en el progreso de su técnica, entonces

cualquier nuevo punto de vista, que permita mejor consideración del tema, puede ser trascendente, dentro de su aparente levedad.

La visión de tantos casos de presas estudiadas, la necesidad de ir ya aprovechando cierres menos favorables, la experiencia de sus averías, de sus defectos, la contemplación reiterada del complejo presa-terreno, nos han llevado a un concepto más amplio, más comprensivo de lo que, en un embalse, debe entenderse por "Presa".

Se llama *presa* al muro que sujeta, encierra, sostiene y retiene el agua para formar un embalse; pero tal misión no la desempeña solamente ese muro artificial que el hombre construye; el embalse estará igualmente sujeto, encerrado, sostenido y retenido por todo el terreno de su contorno. De ahí que debe extenderse el concepto "presa" a todo el conjunto que coopera a llenar aquella función. De ahí también que a muro y a terreno debe prodigárseles las mismas atenciones, análogos cuidados, observaciones iguales. Si en la presa propiamente dicha hay que vigilar el cálculo mecánico y la técnica constructiva, en el terreno que cierra el embalse es indispensable conocer su geología; su estratigrafía, su tectónica, su petrografía, su hidrología; y del mismo modo que las zonas más delicadas en este conjunto son aquellas del contacto de presa con terreno, por tratarse de enlace entre elementos heterogéneos, igualmente, lo más difícil y lo más esencial es ese encaje y esa compenetración que debe existir entre el arte del Ingeniero que proyecta y construye y la ciencia del geólogo que, después de concienzudo estudio de la estructura y naturaleza del entorno, define las características del terreno, señalando cuál será su comportamiento ante la presencia del embalse y con el empuje de la presa y, en su caso, qué corrección será necesario aplicar en cualquier aspecto defectuoso.

La desconexión entre estos dos elementos de juicio, entre estas dos maneras de considerar el problema, con mentalidades de diferente formación, ha sido causa principal de muchas averías y de algunas catástrofes, que se hubiesen evitado seguramente con una visión armónica del caso y que pueden ocasionarse cuando el Ingeniero subvalora el alcance de un estudio geológico, o cuando el geólogo desconoce hasta qué punto van a ser modificadas las condiciones que afectan al terreno por los empujes transmitidos por la presa y ante la presencia del agua del embalse.

Es absolutamente preciso que en el proyecto y en la construcción de un pantano exista unidad de pensamiento y de criterio; que el Ingeniero director de la obra sienta su espíritu invadido por el hábito sutil de la responsabilidad, que le hará identificarse con aquélla; que no aparezca nunca ajeno a las diversas técnicas especiales que deben concurrir en el proyecto, antes al contrario, que las armonice y ensamble, y, si no es geólogo, sepa interpretar la geología local a través de los informes de los expertos y valorar en su alcance trascendental la importancia de la geología en la implantación de una presa; y si no cultiva la técnica del Laboratorio, cuente en todo momento con esta indispensable guía, pero nunca

se considere aliviado por tales colaboraciones del peso sagrado de su responsabilidad inconsútil, que no puede ceder y que es la que imprime carácter de indiscutible a su autoridad en la obra.

Estamos considerando el aspecto geológico en torno a la construcción de las presas y la primera afirmación que hay que dejar anotada es que no se puede apartar del estudio de la presa cuanto concierne al terreno, ni suponer que al hablar de éste se sale fuera del tema de aquélla. Es tal la correlación mutua entre ambos, que hay que examinarlos en su conjunto.

La construcción de una presa altera fundamentalmente el régimen del río, y esa modificación afectará, en primer término, al agua cuya corriente se intercepta, desde que entra en el embalse; en segundo lugar, al cauce, en el que dejará de haber erosión y se originarán sedimentos, ya que el material sólido transportado por el río se irá depositando a lo largo de éste, a medida que la velocidad de arrastre decrezca y, por tanto, el perfil longitudinal del cauce variará. En último término, quedará afectado el terreno de las laderas y no sólo el más próximo a la presa, sino, en mayor o menor grado, todo el que va a constituir el cuenco afluente al embalse.

Repentinamente, en una situación de cosas multiseccular, se plantea una disposición nueva que altera de modo notable las causas en presencia. Al elevarse el nivel de las aguas, quizá en varias decenas de metros, quedarán inundadas amplísimas zonas que durante cientos de siglos no lo habían sido y sometidas a una importante carga, antes no sentida.

Se rompe el equilibrio en que se encontraba el terreno y se somete a éste a amplias y frecuentes alternativas que alterarán el equilibrio hidráulico dentro de su masa. Esto ocurrirá con la disposición de la capa freática. Es muy conveniente conocer de antemano con detalle la superficie determinada por las aguas freáticas y obtener el plano en que se sitúan las mismas, ya que con ello se puede deducir la distribución de la permeabilidad en el cuenco, señalándose por las depresiones más pronunciadas del nivel freático las zonas de mayor permeabilidad, con sus líneas de fuga, de gran interés al plantear el proyecto de un pantano.

A veces, tales depresiones singulares permiten presuponer el escape de agua de una cuenca a otra y proyectar acertadamente las pantallas de corrección. En otros casos, se ha comprobado que, en la misma zona elegida para la presa, el nivel freático quedaba a gran profundidad por debajo del cauce; hemos denominado a esos embalses, en tales condiciones, "*embalses colgados*"; se presentan en zonas muy permeables, que requieren corrección y se pueden citar, como ejemplos, el Pantano de Sichar, en el río Mijares, con 30 metros de desnivel freático, y el de María Cristina, en la Rambla de la Viuda, en el que el agua freática queda a la profundidad de 40 metros bajo el cauce; ambos corresponden al litoral mediterráneo de la España calcárea.

Al construir una gran presa de embalse, creamos un complejo en el que van a convivir dos elementos bien

diferentes; la presa de fábrica, proyectada y construída con arreglo a unas teorías de cálculo y unas normas de ejecución, homogénea, dentro de ciertos límites, sometida a leyes mecánicas conocidas, con estructura prefabricada sobre la que podemos actuar. Junto a ella estará el terreno, elemento natural, complejo, heterogéneo, discontinuo, cuya naturaleza, estructura y reacciones conocemos tan sólo con cierta aproximación en el mejor de los casos, pero del que sí sabemos que lo que en él suceda va a ser muy diferente de lo que ocurre en la presa.

Suponemos que en ésta, recién construída y dotada de todos los elementos adecuados a la función que va a desempeñar, todo irá bien. El terreno es otra cosa; su historia se cuenta por millares de siglos, a lo largo de los cuales ha evolucionado substancialmente, y en esta evolución continúa; en esa historia, cien batallas tectónicas y millones de accidentes meteorológicos y de procesos geológicos han dejado en él heridas, a veces no cicatrizadas, no siempre visibles, pero que destruyen su homogeneidad y pueden haber quebrantado su resistencia, y, como se halle en constante evolución física, química y mecánica, es muy sensible a cualquier nueva variable que en ella se introduzca. Toda modificación del equilibrio instantáneo tiene en él su réplica.

Nos encontramos, pues, con estos dos elementos tan distintos, tan dispares, presa y terreno, en los que la relación de tiempos puede ser de *cien años para un día*, y que, sin embargo, tienen que cumplir la misma función, contener un embalse, y tienen que cumplirla viviendo en realidad unidas inseparablemente como hermanos siameses. Nada ocurrirá a uno de ellos que no tenga en el otro inmediata repercusión.

Esta directa e íntima conexión entre presa de fábrica y terreno nos muestra cómo no basta con que aquélla se calcule y se estudie con gran esmero y competencia; es necesario que la misma competencia y análogo rigor se apliquen al estudio del terreno de la cimentación, de los estribos, de las laderas, que, en definitiva, son una prolongación de la presa.

Conocer la naturaleza, la estructura, las características del terreno, es tan necesario como las de la fábrica y, generalmente, más difícil, por las razones apuntadas. Y en cuanto a su hidrología, si en la presa deben estudiarse bien de cerca permeabilidades y subpresiones y adoptarse dispositivos convenientes para controlarlas, análoga preocupación hay que sentir respecto del terreno inmediato.

Un embalse no estará perfectamente proyectado mientras no se conozca el terreno tan bien como el muro con el que se ha de completar el cierre.

Es importantísimo el estudio de la *estructura del terreno*, ya que éste, generalmente, no forma con su masa un solo bloque, sino que en él se señalan varios sistemas de planos de diaclasas que lo dividen en bloques independientes; pueden existir fallas y, si se trata de rocas sedimentarias, hay que atender, además, al sistema de planos de estratificación, mientras que si son rocas eruptivas o existen éstas en las proximidades, no hay que olvidar la

importancia que tiene la aureola metamórfica, muchas veces extensísima.

En los planos de diaclasas, especialmente cuando son o han sido pasos de agua, la caolinización de los feldspatos o la decalcificación de la roca originan la presencia de una delgada capa de arcilla, a veces casi imperceptible, que tapiza la diaclasa y reduce en gran proporción el ángulo de rozamiento.

Es necesario explorar y estudiar todas esas discontinuidades, que tienen tanta o más importancia que las juntas de la presa y puede ser muy grave desconocerlas, en posición y en dirección, y no relacionarlas con los empujes o cargas que transmite al muro.

Por ello, no debe faltar en un proyecto bien estudiado un plano completo en el que figuren con todo detalle los planos de diaclasa de la roca en un amplio entorno de la presa.

Gran importancia tiene siempre en el estudio del terreno la determinación del módulo de elasticidad de la roca, el cual debe obtenerse por distintos métodos, a fin de comparar resultados, y en numerosos y diferenciados puntos, pues si bien son expresivos los valores absolutos de dicho módulo, lo son más aún los relativos, ya que un desequilibrio de tales valores en zonas próximas puede afectar de modo muy directo al comportamiento mecánico del conjunto de la obra.

### III

Realmente, cuando se contempla, en visión de conjunto, un gran embalse con la intrincada morfología del relieve hidrográfico que desde las altas cumbres desciende, con variedad de declives, hasta el río, en el que la presa cierra la breve escotadura que aquél había labrado para cruzar la corrida rocosa transversal, se comprende qué poca cosa es nuestra obra y, en cambio, qué grave, qué serio, qué importante es este terreno cuya situación de equilibrio se ha osado alterar.

Hace varios años, al considerar qué leve porción tiene la obra artificial en el conjunto de un gran embalse, decíamos: "Todo cuanto se esmere en el cálculo de la presa, caerá por su base si el terreno no coopera. ¿Que importa que la mecánica responda del muro si en el vaso se inician fugas o si las laderas, al ser alcanzadas por las aguas, se desprenden violentas? No hay que exponerse a que la obra de fábrica, tan escrupulosamente calculada, fracase por defecto del terreno."

Algunos desgraciados sucesos muy posteriores vinieron a confirmar esta doctrina y a reforzar nuestra confianza en ella, que, naturalmente, no disminuye en nada la enorme importancia que tiene la presa propiamente dicha, ni la consideración en que la tenemos como de las más altas entre todas las obras de Ingeniería, pues en el conjunto de la obra del embalse, que es el objetivo final, la presa es como la dovela clave que cierra el arco, como el golpe de batuta sobre el atril que da paso a la grandiosa sinfonía de las fuerzas naturales.

La identidad de funciones que desempeñan presa y terreno nos lleva a la idea de exigir a ambos las mismas cualidades de resistencia, estabilidad, impermeabilidad, permanencia. Para esto hay que llegar hasta donde sea posible en el conocimiento de las condiciones del terreno, y, si no son las que se exigen a la presa, procurar métodos para corregirlas adecuadamente.

Es necesario que los problemas de impermeabilidad y de presión intersticial se traten en el terreno del mismo modo que en la presa de fábrica. Habrá, pues, que entrar dentro de su masa, como hacemos con las presas, proveerle de mecanismos de auscultación, de control, de seguridad, de drenaje y, cuando esto se haya hecho, trataremos al terreno con la misma confianza que a la presa, porque habremos desvelado en gran parte su misterio y le habremos sometido a las mismas normas rígidas que exigimos para las presas propiamente dichas, y esto en todas las proximidades de la presa, hasta un límite que el Ingeniero, estudiando a fondo el terreno, debe decidir.

La disposición aconsejable para el drenaje, control y seguridad de las presas consiste en un conjunto de galerías, generalmente horizontales, situadas en uno o varios planos normales al cauce y relacionados entre sí, que están enlazadas por conductos de pequeño diámetro, siempre limpios, componiendo todo ello el "sistema de seguridad", que se debe prolongar en el terreno, en profundidad y en horizontal, con longitud adecuada a la naturaleza de aquél, según su disposición e hidrología, y aprovechando, si conviene, las galerías para establecer coronas de taladros de inyección.

Los conductos se dispondrán durante la ejecución de la presa y, una vez establecidos e inyectados, se dejarán limpios y servirán para acusar las posibles zonas de permeabilidad anormal, para suprimir las filtraciones de modo rápido y económico mediante inyecciones y, en su caso, para desvirtuar el efecto de la subpresión y facilitar la auténtica auscultación de la presa y del terreno, pareja inseparable en la construcción, y, sobre todo, a lo largo de la explotación de la obra.

Este sistema, que se ha aplicado y está aplicando en importantes presas de España, modifica esencialmente el concepto clásico de los "conductos de drenaje", da trabajo eficaz al conjunto "presa-terreno" y presta, como queda dicho, una facilidad extraordinaria para conocer en cada momento su situación, así como para reparar posibles defectos.

Creemos que la implantación de este "sistema de seguridad" con el complemento del nuevo método de inyección, con retorno y taladro limpio, ha sido uno de los resultados más importantes de los trabajos realizados por el Servicio Geológico de Obras Públicas en este orden de cosas.

Las reacciones recíprocas entre presa y terreno en su zona de contacto serán muy diferentes según el tipo de presa de que se trate.

Si la presa es de gravedad, la atención principal la merece el terreno de los cimientos, donde va a actuar la

mayor carga, donde puede originarse un deslizamiento por un excesivo esfuerzo cortante, donde sería más grave la subpresión o la consecuencia de un asiento. Hay, pues, que preocuparse de llegar siempre a una roca sana o saneada, de ejecutar un perfecto cosido entre fábrica y terreno, de disponer un rastrillo o pantalla de impermeabilidad.

No debe olvidarse que el terreno del cauce recibe nuevas cargas muy diversas entre sí. Aguas arriba de la presa, el peso del agua del embalse, con sus alternativas y con la acción insidiosa del agua a presión; bajo la presa, la acción transmitida por ésta, mucho más fuerte y también alterna; aguas abajo de la presa el terreno queda aparentemente igual que antes de construir el embalse, pero con dos circunstancias: la presencia próxima del agua del embalse, que puede transmitir subpresiones, o al menos modificar la situación hidráulica del terreno, y, por otra parte, el violento tránsito que supone pasar desde una carga máxima en el pie de aguas abajo de la presa a una carga nula en el punto inmediato del cauce.

Al proyectar el tratamiento de esta zona del cimiento y sus inmediaciones, no se deben olvidar estas particularidades.

En los estribos la acción de estas presas sobre el terreno es menos intensa; no obstante, hay que conseguir que la disposición y características de aquél no origine empujes, no previstos, sobre la presa, así como que no le alcancen, ya sean procedentes de la ladera o del propio embalse, filtraciones que pudieran penetrar en la presa por el frente de apoyo. Deben cuidarse esmeradamente la excavaciones del estribo y su hormigonado y vigilar las consecuencias que la propia excavación puede provocar al romper el equilibrio del terreno originando descompresiones y quizá futuros corrimientos que afectarían a la presa.

Si la presa es del tipo bóveda, se invierten los términos: preocuparán más los estribos que los cimientos, ya que aquéllos son los que van a soportar el empuje o esfuerzo principal y, por consiguiente, es donde se deben buscar las mayores seguridades de todo orden. Como tales empujes van a actuar en distintas direcciones y siempre tendrán una componente horizontal de gran importancia, no basta, de ninguna manera, con conocer la naturaleza y condiciones mecánicas de la roca como tal, sino que es indispensable examinar con gran cuidado la estructura del macizo que forma, estudiando, como ya hemos indicado antes, la orientación, disposición y circunstancias de las fallas, diaclasas y planos de estratificación que presente y analizando el proceso mecánico de la transmisión de los empujes de la presa al estribo hasta su difusión en la ladera.

Uno de los aspectos que más se cuidan en el estudio y en el trabajo que realiza el Servicio Geológico cerca de los pantanos es el que atañe al drenaje y saneamiento de terrenos y fábricas. Ya hemos bosquejado el sistema que se adopta en sus líneas generales, pero conviene consignar que tal esquema es la base de partida para el plan de corrección, que principalmente se efectúa mediante in-

yeciones de cemento o de mezclas y substancias adecuadas al caso. Las cortinas o pantallas de impermeabilización a través del cauce o a través del estribo, las coronas de taladros de inyección desde las galerías, las inyecciones de cosido en la cimentación y en los planos de diaclasa o en otras discontinuidades; en suma, toda una teoría de aplicaciones de métodos correctivos, se aplica tanto a la presa como al terreno, persiguiendo implacablemente a la subpresión, a la permeabilidad y a los posibles deslizamientos.

El sistema de inyecciones cada vez tiene mayor campo de acción y se utiliza con mayor éxito, y con él, complementando a un drenaje bien planeado, se obtiene la desecación de terrenos y fábricas, lo que lleva consigo un substancial aumento del ángulo de rozamiento interno, un mayor valor de la cohesión y una reducción de la presión hidrostática del agua intersticial, así como del peso propio del terreno, circunstancia interesante en muchos casos.

El Servicio Geológico de Obras Públicas tiene también dispuesto, dentro de su organización, el instrumento necesario para la práctica de esas inyecciones, y las realiza metódicamente, habiendo obtenido notables resultados en diferentes casos de muy distinto género.

Debemos añadir, para completar el cuadro del dispositivo oficial que está organizado en torno al estudio geológico de las presas, que recientemente fueron creadas por el Ministerio de Obras Públicas la Comisión de Normas de Grandes Presas, que elabora los reglamentos a que deben ajustarse el proyecto, la ejecución y la explotación de las presas importantes, y cuida de mantenerlos al día en su validez técnica, y la Sección de Vigilancia de Presas, cuya misión esencial es inspeccionar el cumplimiento de las normas vigentes en todas las fases de la construcción y explotación de los pantanos.

#### IV

Por mucho alarde de previsiones técnicas que hayan concurrido en el proyecto y en la construcción de una presa, caerán en defecto si no se mantiene la misma atención y análogo esmero a lo largo de la explotación y muy singularmente en la primera fase de la puesta en marcha de un pantano.

Hemos dicho muchas veces que una obra no se completa cuando sobre ella se iza la bandera. La obra es un ser que se engendra en el proyecto, se conforma durante la construcción, se da a luz al colocar la última piedra y empieza entonces para ella ese período tan delicado de todas las iniciaciones; la presa es entonces como un niño que da sus primeros pasos, y con la misma cuidadosa dedicación con que una madre lleva de la mano a su hijo al comenzar a andar, así es *enteramente preciso* que el Ingeniero, directamente responsable de su obra, proceda con ella, que ha sido construída para cumplir una misión de verdadera trascendencia, como es la creación de riqueza para el progreso y bienestar del país, y de la que también pueden depender muchas vidas humanas.

Ese momento de la puesta en marcha es el trance preciso de la adaptación, de los rigurosos y metódicos *tests*, de las auscultaciones exigentes y exactas, de la comprobación del buen funcionamiento y de la suficiente eficacia de todas aquellas previsiones adoptadas.

Hay que seguir paso a paso las primeras embalsadas de la presa, las primeras avenidas del río, las primeras variaciones del nivel freático, el primer uso serio del vertedero, en el que se van a comprobar "en vivo" fórmulas y resultados de ensayos previos cuando el modelo reducido pase a ser de escala natural; el primer desagüe por las compuertas de fondo, no siempre ágiles en el instante preciso...

En esa primera etapa la presa requiere vigilancia constante y experta, y hay que procurar deducir de las observaciones enseñanzas y estadísticas. Se ponen a prueba las hipótesis geológicas y las teorías constructivas. La presencia del Ingeniero debe ser entonces ininterrumpida para poder examinar minuciosamente las deformaciones de la presa y del terreno al compás de la subida del embalse, la cual debe llevarse con pulso seguro y prudente; se medirán las tensiones en los diversos puntos elegidos, las posibles filtraciones y se deducirá de todo ello el verdadero comportamiento de la obra.

Van a sufrir la prueba de modo simultáneo el terreno y la presa de fábrica, y ambos elementos van a quedar frente a su gran enemigo; el agua.

El agua, que, por otra parte, es la riqueza, es el bien que se procura y se obtiene por medio del embalse, parece como si tratara de vengarse del intento de dominarla y sojuzgarla. Y en verdad que lo hará, tratando de destruir la obra. Es muy mal enemigo. Dispone de muchas armas y las maneja con enorme habilidad y astucia: así, vamos cómo la acción de la gravedad le sirve para actuar en cualquier punto y en cualquier sentido, incluso de abajo hacia arriba, originando las temibles subpresiones; introduciéndose entre los poros del terreno o de la fábrica, disminuye su cohesión y el coeficiente de su rozamiento interno al aumentar la presión intersticial; utiliza indistintamente la acción mecánica con erosiones reiteradas; la acción física, mediante disoluciones, y la química de combinación o corrosión, atacando muy especialmente las zonas débiles, como juntas, diaclasas, grietas, y lleva sus efectos cada vez a mayor profundidad y en mayor escala, sin que dejen de producirse otras veces, por el contrario, sedimentos de sus arrastres o concreciones de las substancias disueltas.

Para realizar estos ataques busca el agua como cómplices a todos los meteoros y fenómenos físicos; se sirve de cada uno de ellos aprovechando sus características más demoledoras, y es ella, en todas estas asociaciones, el elemento activo, lo mismo cuando hace de proyectil lanzado con violencia por el viento, que cuando, convertida en hielo, actúa de cuña destructora, o cuando aprovecha las alternativas de temperatura para entrar y salir a través de terrenos y de fábricas, originando en ellos procesos de alteración y destrucción de su masa.

Pero el verdadero y fiel aliado del agua en su acción

ofensiva es el tiempo. Puede afirmarse que todas las obras humanas acaban pereciendo ante esta incansable coalición.

Tiempo y agua discurren juntos, se renuevan incessantes y, aunque la labor sea difícil, no tienen prisa. Saben que llegará un instante de tiempo y una gota de agua que levantarán la bandera de la victoria sobre los escombros de la obra que se había atrevido a perturbar el orden establecido por la Naturaleza.

Obstáculos mucho más importantes habían sido barridos del curso de los ríos a través de los siglos.

Mas, aun sabiendo que nuestra obra será precedera, y quizá por lo mismo que lo sabemos, es obligado conservarla, defenderla, proveerla de medios de protección para que su existencia sea dilatada en satisfactorias condiciones, del mismo modo que lo procuramos para la limitada vida humana.

Aun con esos caracteres peligrosos que la distingue, es el agua, como acabamos de decir, el objetivo fundamental que se persigue con las presas de embalse y el elemento que proporcionará riqueza y bienestar al país.

Al examinar cómo resulta afectado por un embalse el régimen natural de las aguas dentro de las laderas, vuelve otra vez a ponerse de relieve el aspecto marcadamente geológico del tema. Las aguas del embalse invaden, sin duda, todas las oquedades, las grietas, los intersticios del terreno; colman, en fin, las zonas francamente permeables y llegan a afectar a aquella agua freática que tenía su lento curso hacia el valle y está ahora detenida por la presión del agua embalsada, la cual ciega la salida de las fuentes bajas o bien las permite apenas dar una pequeña porción de su caudal, originando el que un cierto volumen de agua quede retenido subterráneamente para incorporarse después al embalse útil cuando éste descienda de nivel, y así, al repetirse el proceso en las sucesivas variaciones del embalse, se determinan otras tantas alterativas en las aguas freáticas de las laderas, con modificaciones de su nivel, de su velocidad y de su presión, lo que se traduce en cambios notorios en el equilibrio que aguas y terreno mantenían.

Para controlar tales modificaciones y registrarlas sistemáticamente, antes y después de construido el pantano, conviene instalar tubos piezométricos en diversos puntos. Los datos obtenidos pueden ser de gran interés.

Pero aquel volumen de agua incorporada a la masa de las laderas forma realmente un embalse subterráneo suplementario que puede sumarse al visible originado por la presa, salvo que una parte del agua así retenida encuentre fácil escape hacia otra cuenca. De estos casos podríamos señalar varios ejemplos en España.

Sin pretensión de carácter exhaustivo, habría que hacer referencia a ciertas previsiones no siempre atendidas en las presas y, sobre todo, que no suelen extenderse al terreno inmediato. Citaremos en primer término, por ser la más importante, a nuestro juicio, y no siempre satisfecha en el grado necesario, la previsión de la medida de las deformaciones o movimientos que terreno y presa ex-

perimenten durante la construcción, al llenarse por primera vez el embalse y en llenados sucesivos; el sistema de observación, bien planificado, debe montarse antes de comenzar la obra, eligiendo dos grupos de vértices, el próximo y el distante, este último para detectar los posibles movimientos de aquél, y todos con la posible garantía de estabilidad perfecta. Las observaciones, delicadas y frecuentes, se realizan desde el comienzo de la obra, y se referirán al terreno, en ambas laderas y en el cauce, y a la presa de fábrica. Muy especialmente serán hechas durante el tiempo en que se llene el embalse por primera vez y se detendrá esta operación, mediante los desagües, si se observara alguna anomalía especial. Simultáneamente se registrarán los datos de pluviometría, aforos y niveles piezométricos de las aguas freáticas.

Con carácter permanente se dispondrán detectores o auscultadores, péndulos, cuerdas vibrantes y demás dispositivos que midan las deformaciones y las tensiones internas.

De la importancia que puede tener en la presa y en el terreno la acción del embalse, y de cuyos efectos se tendrán noticias por las medidas geodésicas, topográfica; o directas con los dispositivos referidos, se deduce el interés que existe en que haya posibilidad de manejar el embalse de modo eficaz, sin conformarse ni con que un vertedero, suficientemente capaz, garantice que la cota máxima señalada en el proyecto para el embalse no sea desbordada, ni con un desagüe de fondo, de ordinario muy escaso en relación con el volumen embalsado.

Como orientación, hay que ir a disponer de un vertedero, a altura media, de uso eventual, y cuya capacidad permita evacuar en escaso tiempo el volumen de embalse suficiente para que la carga de agua que reduzca significativamente un alivio substancial para el conjunto presa-terreno en un trance de emergencia, siendo también oportuno anotar la conveniencia de que se aumente la capacidad de los desagües de fondo sobre lo que es corriente y recomendar que se habilite para tal evacuación, siempre que las condiciones particulares del caso lo permitan, el túnel o túneles que suelen servir de desvío del río durante las obras.

Como previsiones también de interés y que tienen relación directa con el aspecto geológico y con el perfecto control del funcionamiento de presa y terreno, están las siguientes: vigilancia de las temperaturas externas e internas de la presa, análisis comparativos de las aguas de filtración de presa y de terreno para deducir los posibles ataques del agua sobre el hormigón y también la acción de cualquier orden sobre el terreno de la ladera; por último, es de suma conveniencia que se provea el fácil acceso a todos los puntos de interés de la presa y de los estribos, y, de modo muy especial, que el paramento de aguas abajo quede enteramente libre de escombros y de construcciones innecesarias. Sobre todo hay que hacer hincapié en que esto ocurra en toda la zona de contacto entre presa y terreno, pues así lo exige para su observación constante y minuciosa.

Es indispensable que en el programa de construcción de las presas de embalse figure el tema de la previsión de averías, hasta las más graves, incluso hasta la rotura. Pueden producirse. El coeficiente de seguridad, que debemos llamar *coeficiente de incertidumbre*, por prudentemente que se haya establecido, no garantiza de un modo absoluto contra una concurrencia catastrófica de causas remotísimas que en un conjunto complejo de fuerzas naturales puede presentarse.

Un movimiento sísmico violento, una lluvia extraordinaria no catalogada, una crecida no previsible, un asiento anormal del terreno, un envejecimiento prematuro de la fábrica, pueden transformarse en una avería de la obra.

Para este caso hay que tener medios de información y de previsión. Los mejores medios de información son los que ya hemos indicado más arriba, esto es, la auscultación de la presa y del terreno, la medida de sus deformaciones, el aforo y análisis de las filtraciones que se produzcan; como previsiones, tener en la mano el embalse y poder aliviar al terreno y a la presa, rápidamente, de una parte substancial de la carga que soportan; a estos efectos son utilísimos el vertedero a media altura; el desagüe de fondo, amplio; el sistema de conductos de seguridad, con sus inyecciones oportunas.

Todas estas medidas tienen que ir acompañadas de una vigilancia personal constante. No se debe admitir que una presa en explotación quede abandonada. Los vigilantes deben permanecer junto a la presa, con residencia a cota superior a la del embalse, con camino y medio de locomoción hasta un centro poblado y enlace telefónico o por radio con este último.

A todo proyecto de presa de cierta importancia, o con circunstancias que así lo aconsejen, debe acompañar un anejo con un estudio de las consecuencias que podría tener la rotura del muro y acerca del modo de amínorarlas. En ese estudio se examinarán el posible alcance de la onda producida por la rotura, en cotas y en tiempos; la población interesada, los intereses afectados, las vías de comunicación interrumpidas, etc.

Esto no es visión pesimista, sino cautela prudente; por muy seguro de su victoria que esté un buen general, tendrá planeada y organizada su marcha en caso de retirada.

Así como los Servicios Hidráulicos avisan de las cre-

cidas de los ríos y van indicando la cota que el agua alcanzará en tal punto y a tal hora, para que los ribereños pongan a salvo sus vidas y resguarden lo mejor posible sus haciendas, así debe tenerse en las presas un plan de aviso y alarma bien meditado y organizado y con medios eficaces para ponerlo en práctica. En Frejus, veinticinco minutos, a las nueve de la noche, hubieran bastado para que todo el mundo se pusiera a salvo, y fué ese tiempo el que tardó la onda de crecida en llegar desde Malpasset al pueblo.

Está bien de relieve que en estas obras, quizá más que ninguna otra, está en juego la responsabilidad profesional del Ingeniero, y ello le enaltece, eleva la categoría de su función, demuestra cómo el Ingeniero, al servicio del progreso, pone algo más que su ciencia, que su técnica, que su trabajo. Entrega su responsabilidad y esta entrega la ofrece voluntariamente, rechazando, con buen espíritu, aquella otra responsabilidad cómoda y difusa derivada del no hacer las cosas, de no progresar, de no afrontar lejanos riesgos problemáticos, para caer con seguridad en el atraso, en la miseria, en la ignorancia.

Hay que saber sacar de los fracasos, lección; de las pérdidas, riqueza para los pueblos; incluso de las inevitables desgracias humanas, la salvación de muchas gentes cuyo nivel de vida es necesario elevar y satisfacer.

Todo ello sin perder de vista la consideración, que debe estar en nosotros muy arraigada, de que detrás de nuestros cálculos, de nuestros estudios, de nuestras elucubraciones técnicas, de nuestras realizaciones profesionales, hay un aliento humano pendiente de nosotros, que confía en nosotros; un valor imponderable de vidas, incógnitas de almas que no entran en nuestras ecuaciones, hogares calientes que pueden quedar sin humo...

Para el Ingeniero que siente así la obra, como substancia de su propia carne, y a ella se entrega con alto espíritu, los Congresos científicos de su especialidad, en los que con autoridad máxima se vierte la experiencia universal sobre temas de palpitante interés, proyectando luces que pueden disipar las nieblas de la duda, son como un alto en el camino, donde se recogen armas y medios para seguir luchando en mejores condiciones en esa pelea eterna para el dominio de las fuerzas naturales.

Que este Congreso de Roma sea muy fértil en lecciones provechosas y que de ellas se obtengan, con nuevos avances de la técnica, abundantes beneficios para los que en ella creen y de ella esperan todavía...