

# Normas para estudios de obras de regadío

(Conferencia)

## EMBALSES

**L**AS obras de regadío pueden dividirse en dos grandes grupos: en el primero, podemos reunir las obras destinadas a derivar un cierto gasto de una corriente para distribuirlo después en los terrenos que se desca regar y, en el segundo, las obras destinadas a almacenar el agua o a regularizar el régimen de un río, es decir, los embalses, para ser en seguida conducida por canales a los terrenos.

Fuera de estos dos grandes grupos, existen otras obras, como elevaciones mecánicas del agua de riego, mejoramiento de las existentes, etc.; pero, en obsequio a la brevedad, me limitaré a los embalses por ser las obras que están especialmente de actualidad entre nosotros.

Los estudios para un embalse, como para toda obra, pueden dividirse en estudios en el terreno y en la oficina; me referiré a los primeros.

Estos a su vez comprenden:

- a) Estudios agronómicos y climatológicos de la zona por regar;
- b) Estudios topográficos de los terre-

nos que se pretende regar y de aquellos donde se ubicarán las obras;

- c) Estudios geológicos;
- d) Estudios meteorológicos;
- e) Estudios hidrológicos;
- f) Estudios de los materiales de construcción;
- g) Estudios de los transportes y vías de comunicación; y
- h) Estudios de la obra de mano y condiciones de vida.

## a) ESTUDIOS AGRONÓMICOS

1) *Terrenos*.—Es necesario considerar los terrenos regados y los por regar, pues, generalmente, y sobre todo los grandes embalses, se ubican en corrientes que ya sirven a numerosos canales de regadío, y se desea, unas veces, aumentar sus dotaciones, y otras regar nuevos terrenos, o ambos fines a la vez, como es el caso más corriente.

2) *Ubicación de los terrenos*.—Deberá indicarse, las comunas, departamento y provincia en que se encuentran los terrenos regados y los por regar.

3) *Límites*.—Se indicará los límites

naturales de los terrenos, como ríos, cordones de cerros, etc.

4) *Superficie*.—Se tomará de alguna carta, o midiéndola rápidamente, la superficie de los terrenos regados y la de lo por regar.

5) *Configuración general*.—Se tomarán datos dividiendo los terrenos en planos, lomajes suaves, faldeos, etc.

Se considera según la pendiente:

Plan, hasta 4% de pendiente;

Lomaje suave, de 4% a 10%;

Lomaje corriente, de 10 a 20%; y Cerro, más de 20%.

6) *Calidad*.—Se dividirán en buenos, malos o regulares. Se establecerá su naturaleza, como arenosos, arcillosos, arcillo-arenosos, areno-arcillosos, migajón, gruesos, delgados, trumaos, etc., fijando los porcentajes respectivos de sus superficies.

7) *Cultivos*.—Se tomarán datos sobre los cultivos de la región y de los que puedan efectuarse en los terrenos después de regados en vista del clima, de la calidad de los suelos y de las aguas, de las necesidades de la región, de los transportes, de los más convenientes para la exportación, etc. En los estudios de embalses en las quebradas de Tarapacá y Aroma para regar una parte de la pampa del Tamarugal, ha debido tenerse presente que las aguas son algo salobres y, por lo tanto, no permiten muchos cultivos, como el de árboles frutales, en los cuales se piensa inmediatamente dada la región y por ser el cultivo de mayor remuneración y que requiere menos agua.

8) *Clima*.—Se buscarán y completarán los datos del clima de la región, como temperaturas, lluvias, humedad, sequedad, etc.

9) *Vías de comunicación*.—Se tomarán datos de las vías de comunicación, como ferrocarriles y caminos, para movilizar la futura producción.

10) *Centros de consumo*.—Se averiguarán los principales centros de consumo, las distancias de transportes, el género de éstos, los precios de los productos, la posible exportación, etc.

11) *Muestras del suelo vegetal*.—Se tomarán muestras de los diversos terrenos, correspondientes a la capa arable, para ser analizadas después, procediendo en la siguiente forma:

Se raspa con la pala la superficie del terreno y se toma de los primeros 30 cms. una cantidad de tierra que se mezcla bien, y de un peso de 1,5 Kgs. más o menos.

Esta tierra se coloca en sacos especiales que llevan las siguientes anotaciones:

1.º N.º del pozo.

2.º Suelo;

3.º Profundidad de este suelo;

4.º Nombre del lugar, propiedad y potrero en que fué tomada.

5.º Pastos que crecen principalmente;

6.º Cultivos que se han hecho en estos suelos; si se han dado bien o mal, o si están en estado virgen

12) *Pozos de reconocimiento de los terrenos*.—Se harán pozos hasta de 2 mts. de profundidad, principalmente donde se note variaciones de los terrenos. De cada pozo se hará un croquis a escala que muestre las capas de terreno que se encuentren. Del conjunto de los pozos hechos deberá deducirse la formación del terreno.

Estos pozos también servirán para conocer el subsuelo, como su constitución, permeabilidad, dónde se encuentra el agua subterránea, etc.

Se tomarán muestras del subsuelo, es decir del terreno que se encuentra más abajo de los primeros 30 cms. hasta los dos mts. de profundidad, en la siguiente forma: Se raspa con la pala las paredes del pozo; la tierra que así

resulta se mezcla bien y de ella se toma 1,5 Kilo; se coloca en sacos especiales con el N.º del pozo, pero indicando que es del subsuelo. Si se encuentran varias capas en el subsuelo, se tomarán muestras de cada una de ellas separadamente.

Si se llega a una capa impermeable, como greda, se tratará de establecer su espesor. Este caso es de especial importancia, pues, si la capa impermeable se encuentra cerca del suelo, no podrán hacerse muchos cultivos.

13) *Tasación*.—Se tomarán datos de las tasaciones de los diversos terrenos regados y de secano.

Estos son los datos agronómicos que deben tomarse en el terreno, para el estudio que se hará después en la oficina con sus conclusiones.

#### b. ESTUDIOS TOPOGRÁFICOS

Comprenden estos:

1) *Medida de los terrenos*.—Se hará por medio de poligonaciones taquimétricas o triangulaciones, o ambas a la vez, según los casos. Con los planos existentes, las medidas tomadas y croquis especiales, se hará el plano general de la región, en el cual se indicarán los ríos, esteros, caminos, ferrocarriles, cerros, ciudades, las propiedades y todo lo que tenga interés para el estudio que se hace.

2) *Hoya hidrográfica*.—Si no se tienen planos donde aparezca con cierta precisión, se hará un levantamiento rápido de la hoya hidrográfica, generalmente por medio de triangulaciones.

Para el estudio de los grandes embalses, generalmente basta el excelente plano de la cordillera levantado por la Comisión de Límites, complementado por la Oficina de Mensura de tierras.

Para los embalses corrientes o peque-

ños, es indispensable medir directamente la hoya hidrográfica.

3) *Hoyada del pantano*.—Se tomarán datos taquimétricos para confeccionar un plano de curvas de nivel de m. en m. Este plano comprenderá la superficie inundada por el agua del embalse, la situación de las obras, la instalación de las faenas, las canteras, los empréstitos de tierra, el terreno que se ha de expropiar, las desviaciones necesarias de obras existentes como ferrocarriles y caminos, y una faja más o menos grande a su alrededor según los casos.

Si se inundan con el embalse terrenos de cultivo, poblaciones, caminos, ferrocarriles, etc., el levantamiento será prolijo. Si se trata de terrenos de poco valor, como cerros incultos, regiones cordilleranas, el levantamiento se hará menos detallado, bastando confeccionar el plano horizontal con curvas de nivel de 5 en 5 metros, por ejemplo.

4) *Plano de situación de las obras*.—Se hará un plano detallado a escala 1 : 1000, que se dibujará en presencia del terreno mismo indicando todo lo que pueda observarse desde luego.

Teniendo a la vista el terreno y el plano, se estudiará detenidamente la ubicación de las obras, es decir del tranque, de la toma, del rebalse, del desagüe de fondo, cómo se hará la construcción, la instalación de las faenas, los campamentos, de donde se sacarán los materiales de construcción, cómo se traerá el agua necesaria para los concretos, mojar los terraplenes, etc., las distancias de transporte.

Este plano se levantará por medio de perfiles transversales nivelados y por taquimetría. El perfil que corresponda al eje del tranque se estacará.

5) *Nivelación Longitudinal*.—Se hará una nivelación longitudinal por el lecho de la corriente, empezando 300 mts.

aguas arriba del tranque para terminar 2 000 mts. aguas abajo, por regla general, tomando la superficie del terreno, los pozos de reconocimiento, la superficie del agua subterránea, etc.

6) *Puntos de referencia*.—Se dejarán varios puntos de referencia estables, en lo posible en rocas, los cuales servirán de vértices de una triangulación donde se ubicarán las obras.

7) *Pozos y sondajes*.—Todos los pozos y sondajes que se hagan para reconocer el terreno, deberán ser perfectamente ubicados en el plano de situación de las obras y con sus cotas respectivas.

8) *Formación del terreno*.—En este mismo plano se indicará también la constitución aparente del terreno; así se fijarán, por ejemplo, los mantos de rocas, las fallas, los lechos de ripio, los rodados, las morainas, etc.

#### c) ESTUDIOS GEOLÓGICOS

1) *Geología general de la hoyada*.—Se explicará la formación geológica del valle donde se encuentra la hoyada elegida para el embalse.

2) *Geología detallada de la angostura*.—Este estudio se hará en vista del anterior y de los pozos y sondajes de reconocimiento que se practiquen.

Se harán series de pozos situados en sentido transversal y longitudinal de la corriente donde se ubican las obras.

Todos los pozos deberán alcanzar hasta el terreno de fundación.

Cada pozo se numerará y fijará en planta y cota en el plano detallado de situación de las obras.

De cada pozo se hará un croquis a escala que muestre las distintas capas de terreno que se corten y se tomarán testigos que se guardarán en sacos especiales para ser analizados después.

Si se encuentra agua subterránea, se

fijará la cota de su nivel, su temperatura, hasta dónde sube la humedad, la temperatura del agua superficial, etc.

Los pozos en las faldas podrán ser reemplazados por chiflones.

En caso de que no se puedan hacer pozos se harán sondajes.

El conocimiento del perfil longitudinal de la corriente es indispensable para estudiar la línea de saturación de un embalse de tierra, línea que no debe caer fuera de la base del tranque, y la velocidad con que se mueva el agua debe ser tan pequeña que sea incapaz de mover cualquiera de los materiales de que está compuesto el tranque.

Este perfil longitudinal se refiere no sólo a la superficie aparente, sino también al perfil del terreno impermeable y al nivel del agua subterránea, a la clasificación y determinación del subsuelo permeable, a las temperaturas del agua, todo lo cual debe ser revelado por una serie de pozos o sondajes, que empezarán, para dar una idea, 300 mts. aguas arriba del tranque y terminarán 700 mts. aguas abajo.

*Gargantas en roca*.—Los requisitos fundamentales que deben cumplir las rocas que han de servir de base a un tranque son:

1.º Las rocas deben ser suficientemente resistentes para que puedan soportar las fatigas que trasmite la estructura del tranque.

2.º No deben cambiar de volumen, ni ablandarse, ni disolverse por la acción del agua.

4.º No deben estar sujetas a movimientos que dañen o destruyan la estructura.

Sin embargo, voy a dar una ligera explicación del alcance de estas condiciones, pues, aunque ellas no se reúnan estrictamente, como es lo corriente, puede no ser motivo suficiente para desechar una

situación que se presenta para ubicar un embalse

*Resistencia de las rocas*.—Deben, por lo menos, ser tan resistentes como el material del tranque, vale decir, como un buen concreto. Pero no sólo basta esto, sino que es necesario conocer la influencia de la estructura geológica del conjunto de la masa de roca.

*Permeabilidad*.—La filtración lenta del agua a través de una roca porosa pero insoluble, como algunas lavas, no perjudica a la obra, y con el tiempo la filtración disminuye.

Pero si las rocas son solubles, las filtraciones, por pequeñas que sean, pueden ocasionar un desastre.

Es indispensable estudiar las fracturas de las rocas, o fallas, pues con los movimientos que sufren, se muelen las superficies quedando un material compuesto de piedras partidas, y de jaboncillo en las rocas arcillosas, por donde puede pasar el agua.

Sin embargo, no hay que confundir las fracturas con las simples juntas, en las cuales no ha habido movimientos apreciables, a pesar del aspecto frágil general de la masa de roca, lo que ha inducido a algunos ingenieros a desear situaciones aparentemente inapropiadas.

Una angostura, cuyo subsuelo, en el fondo o las orillas fuera permeable e inclinado regularmente hacia aguas abajo, y si esta inclinación se prolonga en el lecho del río o en sus orillas, apareciendo a una cota menor que la del tranque, podría permitir que el agua del embalse se escurra. Pero si las capas geológicas del lecho permeable se hubieran dislocado o plegado por un movimiento tectónico, en tal forma que no hubiere gradiente hidráulica suficiente hacia los afloramientos del valle, desaparece el peligro de filtraciones serias.

*Solubilidad*.—Seguramente no se encuentra en la naturaleza una roca completamente insoluble, pero unas lo son más que otras.

El granito, el basalto y otras, son prácticamente insolubles; por el contrario, las rocas salinas y el yeso se disuelven rápidamente, cuando hay escurrimiento del agua entre sus grietas, aumentando muy pronto sus tamaños. Sin embargo, si no existen estas grietas, la roca se disuelve mucho más lentamente y puede no haber peligro. Cuando se estudiaba un embalse en la quebrada de Tarapacá para 33 000 000m<sup>3</sup>. de agua, se observó que el tranque que se había pensado en el primer momento, se apoyaba en rocas calizas, aparentemente muy apropiadas, y hubo de cambiarse un poco la ubicación.

Es indispensable estudiar bien la cementación de las areniscas o conglomerados; así una cementación con yeso no puede considerarse como segura para fundación de un tranque.

*Reblandecimiento por la acción del agua*.—Algunas rocas son bastante duras estando secas, pero se ponen blandas y plásticas cuando se humedecen. El fracaso del tranque de San Francisco es un caso de la importancia de esta propiedad.

Especial cuidado debe tenerse con las rocas unidas por capas de arcilla.

También algunas areniscas disminuyen de resistencia cuando se humedecen.

*Movimientos*.—La mera presencia de una falla no justifica que se condene el sitio de fundación de un tranque. Sin embargo es indispensable que se conozca su existencia, que se considere cuidadosamente la posibilidad del movimiento futuro que pueda sufrir, y que, en lo posible, el tranque se proyecte de suerte que pueda habérselas con futuras contingencias.

Es claro que no debería construirse ningún tranque a través de una falla reconocida como activa en épocas recientes.

Sin embargo, la proximidad de una zona activa de fractura, no implica necesariamente peligro serio para un tranque.

También es necesario en las regiones sujetas a temblores, examinar las formas de la roca y deducir de su condición el efecto probable de temblores futuros en un tranque de fábrica o concreto.

Desde el punto de vista geológico, es muy raro encontrar ubicaciones ideales para tranques; pero se pueden vencer las dificultades hasta el extremo de que se puede decir que es posible fundar con éxito un tranque en cualquier clase de suelo si se conocen bien las condiciones geológicas y si no se limitan los costos.

No sólo es necesario reconocer el terreno donde ha de fundarse el tranque mismo, sino también donde se ubicarán el rebalse, el canal de descarga, y las obras de toma.

#### h) ESTUDIOS METEREOLÓGICOS

Se harán observaciones de la dirección de los vientos y de la velocidad para calcular las olas del futuro lago; de temperaturas, humedad y sequedad del aire, y de la evaporación. Se tomarán informaciones de las lluvias y nieves.

#### e) ESTUDIOS HIDROLÓGICOS

Es uno de los puntos capitales de todo proyecto de riego y que no puede ser solucionado en el terreno mismo con los datos aislados que se tomen, pues para ello se requieren largos años de observaciones como los que se practican en la

Sección Hidrometría del Departamento de Riego.

Pero como no siempre la corriente que se va a estudiar, tiene un período de observaciones más o menos largo, el ingeniero deberá tomar datos que le permitan relacionarlos con las observaciones de otras hoyas bien estudiadas.

De estos estudios, deducirá después el agua que puede ser aprovechada y su regularización con las obras que proyecte, punto muy importante para la justificación económica.

Como complemento para el estudio hidrológico, se deberá en el terreno tomar los siguientes datos, fuera de los ya dichos en los estudios metereológicos

1) *Aforos*.—Se practicarán varios aforos de la corriente, los cuales se relacionarán con las observaciones limnimétricas instaladas en ella.

2) *Gasto máximo*.—Se tomarán informaciones de las grandes creces entre los habitantes de la región y de las señales dejadas por el agua. Así se formará un criterio sobre el gasto máximo, y se comparará con los cálculos y datos que se encuentran después en la oficina.

3) *Gasto mínimo*.—En la misma forma se informará el ingeniero del gasto mínimo.

4) *Rol de canales*.—Se formará un rol de los canales de la corriente con su ubicación, derechos de agua, áreas regadas, etc.

5) *Aforo de canales*.—Se harán varias corridas de aforos de estos canales, y cada una en un mínimo de tiempo.

6) *Hoya hidrográfica*.—Al hacer la mensura de la hoya hidrográfica se tomarán datos de su configuración, naturaleza, vegetación, aridez, pendiente, permeabilidad, de la parte donde llueve, nieva y con nieves eternas.

7) *Arrastres*.—Se estudiarán los arrastres de la corriente, como piedras, rípios,

arenas, limo, etc.; así mismo las épocas e intensidades de ellos, y se harán experiencias de sedimentación.

Se estudiará la manera de evitar el embancamiento del pantano. Por ejemplo, la quebrada de Tarapacá arrastra en sus creces gran cantidad de barro y piedras, y se ha previsto que es posible construir en el futuro tranques para decantarlos, aprovechando estrechuras muy apropiadas que se cerrarían fácilmente con tranques de concreto.

f) MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN

Se estudiarán y tomarán muestras de los materiales de construcción que existan, como rocas, ripios, arenas, tierras, arcillas, etc.

Se estudiarán sus ubicaciones, las distancias y medios de transporte, si existen en cantidad suficiente, etc.

g) TRANSPORTE.

Se hará un estudio de los transportes de la región con relación a la salida de los productos.

Pero no es esto un punto que interese principalmente al ingeniero proyectista, por cuanto la realización de las grandes obras impondrán un desarrollo futuro de las comunicaciones. Sin embargo en las obras de menor importancia, puede ser esta circunstancia un factor preponderante para estimar su conveniencia.

Tal es el caso de los embalses estudiados para el regadío de la región de Casablanca, en que se ha considerado el camino que une este punto con Valparaíso como complemento importante de las obras.

En cambio, lo que debe tenerse siempre muy en cuenta es el estudio de los transportes para la ejecución de las obras,

especialmente cuando se encuentran situadas en lugares de difícil acceso, como en la cordillera, pues los gastos que ellos representan pueden ocasionar, si no han sido bien consultados, el fracaso de la empresa constructora y un gravamen excesivo para las obras. Así, ya lo dijo mi colega don Carlos Delpiano, uno de los factores que más influyeron en la construcción del canal del Melado, fué el problema de los fletes.

Con este fin, se estudiarán los transportes de los materiales y maquinarias para la construcción de las obras; cómo se pueden hacer en la actualidad, por ejemplo en camiones, mulas, etc.; si es necesario arreglar o hacer caminos; cómo se harán una vez habilitados éstos; las jornadas que es necesario, etc.

En caso de ser necesario construir caminos se hará un reconocimiento de sus trazados y se estimarán sus costos.

h) OBRA DE MANO Y CONDICIONES DE VIDA

Se tomarán datos sobre el valor de la obra de mano; si hay obreros preparados en la región; los jornales.

Se estudiarán los campamentos que sea necesario habilitar para la construcción y cómo se abastecerá a los obreros.

Si se puede trabajar todo el año, o si es indispensable interrumpir las faenas, las temporadas hábiles de trabajo, etc.

Así mismo se tomarán datos sobre la alimentación de los animales necesarios, talajes y forrajes.

Lo dicho corresponde al material de datos que debe recoger en el terreno el ingeniero encargado del estudio de un embalse importante, quedando la confección del proyecto en la oficina, que no es menos laborioso y delicado, pero donde tiene mayores facilidades para consultar y estudiar.