



PRESAS DE RIEGO

Aspectos constructivos fundamentales

Ing. Agr. Michel H. Koolhaas (1)

El proyecto de una presa de tierra debe apegarse lo más posible a la realidad, es decir, que debe acuar las condiciones reales del emplazamiento en que se construye y los materiales de construcción de los cuales se dispone. El principio básico del proyecto de una represa, es construir una estructura que sea satisfactoria y funcional a la vez, a un costo mínimo. Las presas de tierra deben ser seguras y estables durante todas las fases de la construcción y de la operación. Para ello se deben satisfacer los siguientes requisitos:

- a) La cimentación o fundación debe tener capacidad de soporte para el terraplén a proyectar y resistencia elevada a la filtración.
- b) Las filtraciones a través del terraplén deben ser controladas.
- c) Los taludes del terraplén deben ser estables para todas las condiciones de construcción y de la operación.
- d) Los taludes deben estar protegidos contra la erosión.

En este artículo analizaremos los dos primeros criterios básicos señalados y sus aspectos fundamentales; y en otra oportunidad los puntos restantes, así como otros requisitos constructivos.

FUNDACIONES

En realidad una fundación no se proyecta, sino que se toman algunas medidas para tener la seguridad de que se satisfacen los requisitos esenciales de:

- a) Proporcionar un apoyo estable para el terraplén en todas las condiciones de saturación y de carga.
- b) Resistencia elevada a la filtración para evitar una pérdida de agua excesiva.

Nunca dos fundaciones son exactamente iguales; cada cimentación presenta sus propios problemas distintos. Normalmente es económico proyectar las fundaciones en base a criterio empírico, tratando de usar deliberadamente factores de seguridad.

Podemos clasificar las fundaciones en tres tipos:

a) en Roca, b) en Arena y Grava, c) en Limo y Arcilla, con todas sus variaciones infinitas. En la práctica incluso se da el caso que en una misma presa se combinen dos o tres tipos de fundación, aspecto en el cual tenemos amplia experiencia de ejecución.

En términos generales, las fundaciones permeables no presentan dificultades relativas con asentamientos o de estabilidad en presas con alturas menores a 15 metros. En cambio, las fundaciones relativamente impermeables no tienen problemas de filtraciones pero pueden estar sujetas a asentamientos. El tratamiento mínimo para cualquier fundación es el despalle de la cobertura vegetal y el material con elevado contenido de materia orgánica que se elimina en un espesor generalmente de unos 15 centímetros como mínimo. En resumen, el proyecto de cualquier presa puede constar de varios tipos de fundación.

1. Fundación en Roca

Este tipo de fundación no presenta ningún tipo de

problema de resistencia para las presas pequeñas, de una altura de terraplén menor a 15 metros. Las principales consideraciones son las peligrosas filtraciones erosivas y la excesiva pérdida de agua por hendiduras, fisuras y estratos permeables a lo largo de planos de fallas geológicas. El tema debe ser analizado por un especialista de suelos en función de la obra a proyectar, ya que el tema es demasiado técnico y complejo para evaluarlo en pocas líneas y en forma vulgar. De todas formas, una posibilidad es construir dentellones de hormigón o suelo-cemento para interceptar a lo largo de la zona de contacto del terraplén; o de lo contrario dentellones para rellenar y compactar con una tosca de bajo índice CBR, es decir una tosca con muchos finos.

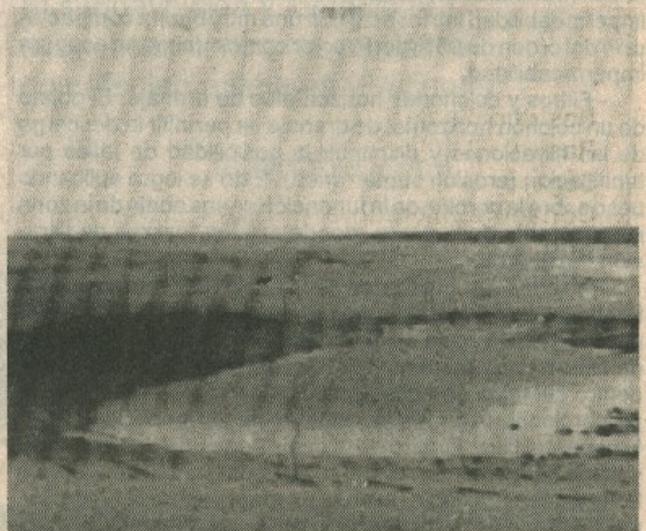
2. Fundaciones de Grano Grueso (Arena y Grava).

Con frecuencia en el Uruguay las fundaciones de las presas consisten en depósitos aluviales de arenas y gravas relativamente permeables, que cubren formaciones geológicas impermeables.

Este tipo de fundación tiene dos problemas; magnitud de las filtraciones subterráneas o pérdidas y presión producida por las filtraciones.

Magnitud de las Filtraciones. Las pérdidas de agua por filtraciones subterráneas puede tener importancia económica en una presa de almacenamiento para riego, pero tendría muy poca en el caso de una presa reguladora de caudales.

Las características hidráulicas se determinan midiendo la conductividad hidráulica, por ejemplo a través del método del pozo invertido, que es la prueba de campo más práctica. Consiste en medir en un pozo, confeccionado con un taladro de suelos, cuyo fondo se encuentra por encima de la napa freática, lleno con agua, la tasa de descenso del nivel de agua en dicho pozo. Aplicando ciertas relaciones matemáticas se determina el coeficiente de permeabilidad respectivo para dicha prueba, lugar y profundidad. Empíricamente se puede establecer entonces con las repeticiones adecuadas y los valores correspondientes, el grado de



(1) Técnico del Plan Agropecuario. Departamento de Aguas.



impermeabilidad del fondo del vaso y las pérdidas de agua resultantes en función de las cargas de agua futuras en el lago.

Fuerzas de Filtración. La circulación del agua a través de una fundación relativamente permeable produce fuerzas de filtración, como resultado de la fricción entre el agua que se filtra y las paredes de los poros del suelo a través del cual pasa, de manera similar a la fricción generada por el agua al circular en tuberías.

Las fuerzas de filtración tienden a levantar el talón de la presa y provocar un fenómeno complejo llamado "TUBIFICACION", cuya falla resultante puede ser un levantamiento repentino de la fundación en el talón, aguas abajo de la presa. La tubificación no siempre produce una falla del tipo "reventón", porque si el agua arrastra el material fino dejando únicamente el material grueso, se formaría un filtro invertido que evita que siga aumentando la tubificación. Como éste es un proceso que es difícil de predecir y arriesgado, es más seguro y confiable proyectar la estructura para que no se produzca tubificación. En el Uruguay hay muchos casos de fallas tipo reventón incluso en presas de riego importantes, y generalmente la falla está vinculada a otro asunto a tratar más adelante, referente a la línea de saturación.

En definitiva, la tubificación es un proceso de erosión subterránea, que sin llegar a un "reventón" puede producir serios problemas en el talud trasero generando una erosión del mismo y estaríamos actuando en contra del principio o requisito básico enumerado inicialmente.

Tratamientos de las Fundaciones de Arena y Grava. La acción estará dirigida a controlar y reducir el flujo de agua y por tanto las fuerzas de filtración. Los tratamientos posibles de realizar son los siguientes:

- Sustitución de materiales, generando un volumen de excavación a depósito, y luego rellenando con el material arcilloso o limoso adecuado y compactando. Este es un caso muy frecuente en las condiciones uruguayas y especialmente en las partes más profundas del terraplén. Es decir, a nivel de la zanja o cauce que se intercepta y cuyas aguas se pretende embalsar.

- Siempre que sea posible se deben cortar las filtraciones de una fundación permeable, por medio de un dentellón o zanja de anclaje que llegue hasta el estrato impermeable. Este es el método más efectivo para controlar el volumen de filtraciones. Una fórmula empírica para determinar el ancho del fondo de la zanja es:

ancho fondo zanja = carga hidráulica - profundidad zanja

Este dentellón se excava a depósito o se incorpora en algún lugar del futuro terraplén, y luego se rellena y compacta con materiales arcillosos o limosos de relativamente alta impermeabilidad intrínseca; con una muy buena compactación del orden de 95% del Proctor como mínimo se asegura impermeabilidad.

- Filtros y colchones horizontales de drenaje. El objeto de un colchón horizontal de drenaje es permitir la descarga de las filtraciones y disminuir la posibilidad de fallas por tubificación (erosión subterránea). Esto se logra aplicando peso sobre la porción de la fundación aguas abajo de la zona impermeable de la presa, donde existen fuerzas de filtración hacia arriba.

En todas las presas de tierra sobre cimentaciones o fundaciones permeables donde no se proyecten dentellones efectivos o no se ejecuten, deberían incluir un proyecto de filtro necesariamente. El filtro de drenaje se incorpora dentro del talón de aguas abajo del terraplén y se trata de proporcionar un amplio incremento de permeabilidad entre la base y el filtro. El filtro de drenaje tiene una doble función y especialmente en el caso de una presa de sección homogénea. Es decir, que hay un efecto sobre la fundación para evitar la falla de tubificación, así como abatir la línea

de saturación del terraplén y asegurar estabilidad al talud trasero. Por tanto, ésta es una solución vinculada con más de un criterio fundamental de los enumerados inicialmente. El filtro de drenaje debería comenzar en el talud de aguas abajo del terraplén sobre el borde, y extenderse aguas arriba hasta una distancia igual a la altura de la presa más 1,0 metro.

En otras palabras, el ancho del filtro = altura presa + 1,0 metro. Con esta regla, el límite de aguas arriba del filtro de drenaje quedará en una posición que corresponde al límite de una zona permeable en un terraplén de sección compuesta, construido sobre una fundación permeable sin un dentellón o zanja efectiva.

3. Fundaciones en Limo y Arcilla

Estas fundaciones son las más comunes de encontrar en la práctica y el problema de las mismas radica en la estabilidad, es decir en la capacidad de soporte. Además del riesgo obvio de falla por falta de resistencia del terreno de fundación, hay que tener en cuenta el efecto de la saturación de la fundación una vez completado el embalse. La primera consideración a realizar es el efecto de la presión de la estructura a levantar sobre la fundación y luego se puede recurrir a tablas de capacidad de carga de diferentes tipos de terrenos o de lo contrario efectuar un ensayo empírico de penetración, con un barreno, determinada carga y número de golpes.

FILTRACIONES DENTRO DEL TERRAPLEN

Los suelos varían mucho en cuanto a su permeabilidad y aún las arcillas más compactadas son "porosas" y no se puede evitar que el agua pase a través de ellas. El concepto de impermeabilidad no es absoluto, no existe impermeabilidad como tal en mecánica de suelos, éste es un concepto relativo. La escuela holandesa por ejemplo, establece un concepto de impermeabilidad de un estrato, cuando su coeficiente de permeabilidad es 1/10 del estrato superior o subyacente. Cuando un embalse se llena, el terraplén se satura con el tiempo, de una forma particular, en función de una serie de características de los materiales, su colocación y compactación. La línea de saturación o línea freática es la línea que divide dentro del terraplén la zona saturada de la que no lo está; las filtraciones o sea el flujo de agua ocurre por debajo de la línea de saturación.

1. Detalle de los Terraplenes

Fundamentalmente existen dos tipos de secciones de terraplén: sección homogénea y sección compuesta.

El tipo de presa de sección homogénea se recomienda solamente cuando hay escasez de materiales de buen drenaje, es decir, abundan los materiales finos arcillosos y limosos. Por tanto, estas condiciones hacen que la construcción de una presa de sección compuesta sea antieconómica. Pero debe hacerse la salvedad de que para presas de sección homogénea de más de 2,0 metros de altura de agua, deben preverse dispositivos para el drenaje interno del macizo de tierra. Como ya se mencionó anteriormente, esta condición es muy general en el país y las presas se contruyen homogéneas sin drenajes horizontales o de otro tipo, afectándose la estabilidad del talud trasero a tal punto que, por ejemplo, un productor, para salvar su inversión, ha tenido que desagotar el embalse. Por supuesto el embalse hasta el día de hoy permanece seco, porque no se permite la acumulación de agua, ya que ello implicaría la destrucción de la estructura, pero en definitiva el embalse no es funcional, seguro, ni económico; no obstante, la represa está allí, existe, pero de "adorno".

Un dispositivo para el drenaje interno del terraplén, es

el comentado filtro horizontal, ya mencionado en ocasión de fundaciones de grava y arena. Mediante este dispositivo, se logra un abatimiento o descenso de la línea freática dentro del macizo de tierra, asegurando a su vez la estabilidad del talud de aguas abajo.

En resumen, este tipo de sección se utiliza fundamentalmente cuando la fundación es de limo y arcillas, generalmente con abundancia de materiales finos y donde escaseen los permeables. Los problemas surgen cuando la altura de agua a embalsar aumenta y los proyectos no prevén la construcción de filtros de drenaje.

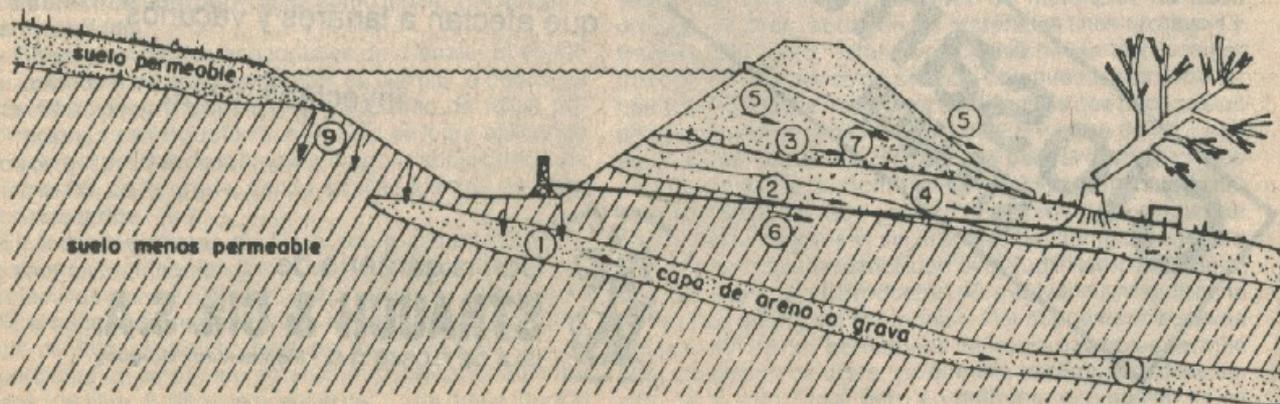
Terraplenes de sección compuesta, son los que poseen un núcleo central impermeable, con materiales permeables o diferentes a ambos lados del mismo. Este tipo de presa deberá construirse siempre que se puedan conseguir suelos de varias clases con relativa facilidad o de lo contrario, el material arcilloso sea escaso. En realidad, estas presas son más económicas porque permiten el uso de una gran variedad de materiales. El esquema de zonificación puede dividir la sección de la presa en tres o más partes que dependerá del grado de variación de la granulometría de los materiales. Los materiales de fácil drenaje, o sea los que de por sí tienen mayor estabilidad, se utilizan para confinar y soportar el núcleo impermeable que es menos estable. Al colocar los materiales permeables en las porciones de aguas abajo, se evita la formación de presiones por el agua de las filtraciones y permite el abatimiento de la línea freática, manteniéndola a bastante profundidad del talón del terraplén.

El ancho del núcleo impermeable a cualquier cota no puede ser menor que la altura de terraplén por encima de dicha cota. Esta es la condición mínima de ancho de un núcleo impermeable, para una presa sobre una fundación de limo y arcilla impermeable.

En el caso de fundaciones permeables con un dentellón no totalmente efectivo, el núcleo mínimo debe tener taludes de 1,5: 1 con las condiciones mínimas establecidas anteriormente. En resumen, sobre fundaciones permeables se debe utilizar un núcleo impermeable hasta una profundidad tal que se alcance un sustrato impermeable. De lo contrario, el núcleo impermeable servirá únicamente para interceptar filtraciones dentro del terraplén y habrá que evaluar el impacto de las filtraciones subterráneas por la fundación.

RESUMEN DE CONCEPTOS PARA CONTROLAR LAS FILTRACIONES

A modo de resumen vamos a esbozar gráficamente las precauciones ya manejadas, a los efectos de prevenir filtraciones durante la construcción de un terraplén para embalse de agua para uso agropecuario.



Situaciones que pueden generar filtraciones incontroladas.

(Fig. 1)

Con relación a estas figuras 1 y 2, se indican con números las precauciones a tener en cuenta cuando se selecciona y se investiga un lugar y durante la construcción de la represa.

(1) Las filtraciones pueden ocurrir por un estrato o capa permeable que puede quedar o no expuesta durante el proceso de excavación de tierra.

Solución: consiste en realizar investigaciones de suelos anteriores a la construcción, o sea, a nivel de proyecto. Tal vez sea suficiente con realizar una excavación a depósito eliminando material inconveniente, y recomponiendo con material de alta impermeabilidad y bien compactado, de forma de hacer un colchón impermeable. Otra forma sería no realizar préstamo de tierra dentro del área del lago y ubicar el mismo en otro lugar fuera del área del futuro lago. De lo contrario, habrá que elegir otro lugar sin dicho problema.

(2) Las filtraciones a lo largo de raíces y de las zonas altamente porosas de la fundación dejada por raíces, son de un alto riesgo. Solución: deben ser totalmente eliminados los árboles, tocones y raíces.

(3) Las filtraciones a lo largo de la zona de contacto entre el suelo original y el terraplén a implantar. Solución: es el caso mencionado del tratamiento mínimo de cualquier fundación consistente en la remoción de la cobertura vegetal y del suelo orgánico antes de colocar material y compactar; es el llamado despulme de cobertura vegetal.

(4) Las filtraciones pueden ocurrir por debajo del terraplén y a través de una fundación permeable.

Solución: es necesario bloquear el flujo subsuperficial del agua, construyendo una zanja de anclaje como fue mencionado oportunamente.

(5) Las filtraciones a través del terraplén.

Solución: construir el terraplén de acuerdo a normas estándar de taludes y anchos de coronamiento; realizar el terraplén con material no orgánico y tender en capas delgadas y compactar con suficiente energía. Colocar los materiales más impermeables del lado mojado, aguas arriba y los materiales más permeables hacia el lado seco.

(6) y (7) Las filtraciones pueden ocurrir a lo largo de cañerías. Solución: colocar las cañerías siempre con collarines de hormigón simple que envuelven todo el caño y solucionan a su vez el anclaje de la cañería en la fundación y las filtraciones.

(9) Pueden ocurrir pérdidas de agua en parte o toda el área del lago. Solución: existen varias posibilidades que desde la fase de estudio del proyecto -estableciendo dicho lugar como inadecuado por problemas económicos- hasta pasar escarificadores y compactar con humedad óptima las capas superficiales del área del lago con mayor carga hidráulica.