

MINISTERIO DE OBRAS PUBLICAS



PROYECTO Y CONSTRUCCION
DE

TAJAMARES

PUBLICACION DE LA DIRECCION DE HIDROGRAFIA

MAYO DE 1985
MONTEVIDEO

PROYECTO Y CONSTRUCCION DE TAJAMARES

Introducción.—

El régimen pluviométrico de nuestro país se caracteriza por tener grandes variaciones; con frecuencia hay períodos de sequía que afectan sensiblemente el desarrollo normal de las explotaciones del campo.

Con respecto a la ganadería, la disponibilidad de eficientes aguas permanentes evita muchos de los grandes inconvenientes que ocasiona una sequía prolongada.

Basta recordar los enormes perjuicios que ocasionó la sequía del año 1942 y los años necesarios para la recuperación.

En el informe sobre "Recomendaciones para el Desarrollo Agrícola del Uruguay" realizado por la misión de la F.A.O. y B.I.R.F. se expresa: "Debe adoptarse un programa de construcción de tajamares y embalses económicos para abrevaderos de ganado en la mayor parte de las praderas onduladas del Uruguay, con el objeto de suplir las necesidades derivadas de la subdivisión de los pastos. Se ha demostrado que estos embalses constituyen una solución práctica del problema en praderas semejantes de otros países. Contrariamente a la creencia popular, el agua almacenada en esta forma es perfectamente satisfactoria para el ganado"

El Ministerio de Obras Públicas, consciente de su responsabilidad en la planificación de aprovechamientos hidráulicos, comenzó a construir obras de este tipo a partir del Plan de Obras Públicas de 1960, destinadas a solucionar problemas derivados de la escasez de aguas en los predios rurales de propiedad estatal.

Estas obras son proyectadas y construidas por la Dirección de Hidrografía del M.O.P. utilizándose hasta ahora el régimen de contrato previa licitación pública.

En la presente publicación se describe particularmente el proyecto y memoria constructiva utilizados para licitar la construcción de nueve tajamares en el Establecimiento de Docencia y Producción "La Carolina" de la Universidad del Trabajo del Uruguay, obra ésta actualmente en ejecución y que integra un programa más amplio previsto en el Plan de Obras de 1962.

El objetivo fundamental del proyecto es el de obtener aguas permanentes, higiénicas y de duración ilimitada, mediante la construcción de diques o muros de tierra.

Estas obras consisten simplemente en muros de tierra bien apisonada, construidos en lugares adecuados para conseguir la retención de aguas de una determinada cuenca y están provistos de una serie de obras accesorias destinadas a dar un uso correcto a las aguas embalsadas. Es éste por otra parte, el procedimiento más eficaz y económico para la captación de corrientes superficiales.

PROYECTO DE LA OBRA PRINCIPAL

Ubicación del tajamar.—

La ubicación más adecuada para realizar una represa puede ser una zanja profunda o donde se aproximan dos cuchillas, pues son lugares que requieren poco movimiento de tierra con relación al volumen de agua que permiten embalsar. El curso de pequeños arroyos y cañadas (permanentes o no) permiten la ejecución de tajamares eficientes.

Reconocimiento del subsuelo.—

Para obtener la seguridad de que la represa retendrá el agua, necesitamos reconocer previamente la naturaleza del terreno donde se asentará el terraplén y el material para el mismo.

Se excavan pequeños pozos de exploración con el objeto de extraer muestras que una vez analizadas en el Laboratorio de Mecánica de Suelos permiten clasificarlas y por consiguiente establecer cual será la energía de compactación requerida para la estanqueidad de la presa.

Los suelos con que se construyen estos terraplenes son de muy variados tipos y casi todos son aptos para este fin, debiéndose evitar solamente las arenas gruesas o canto rodado, cuando no se puedan mezclar con elementos ligantes (suelos arcillosos), o simplemente los suelos agrícolas comunes en nuestro territorio.

Cálculo de la capacidad del tajamar.—

La cantidad de agua a almacenar dependerá de las necesidades del abastecimiento.

Las dotaciones tenidas en cuenta para la elaboración del proyecto corresponden a una explotación intensiva habiéndose previsto dos vacunos y cinco lanares por hectárea con una necesidad diaria por cabeza, de 50 lts. por vacuno y 5 lts. por lanar.

Se ha estimado en 150 días el tiempo en el cual la laguna no tendrá reposición (desde mediados de noviembre a mediados de abril) y por lo tanto las necesidades deberán ser satisfechas por el agua almacenada.

Con los datos anteriores, la necesidad total en metros cúbicos (o sea el volumen útil) se obtiene multiplicando por 18, 75 el número de Hás. del potrero.

Altura de presa necesaria para embalsar el volumen útil.—

Para determinar la altura de la presa es necesario efectuar un relevamiento del lugar en que se emplazará la obra. Con los datos obtenidos se confecciona el plano de curvas de nivel y se ubica planimétricamente la presa. Luego se determina la superficie total encerrada por cada cota hasta la presa. La semisuma de dos cotas sucesivas, multiplicada por el intervalo vertical entre ellas, nos da el volumen encerrado entre las mismas. Procediendo en esta forma con las distintas cotas sumando los volúmenes parciales así logrados, obtenemos el volumen total para la altura de cota máxima que consideramos.

Con los valores obtenidos se dibuja una gráfica de aéreas y volumen acumulados para distintas alturas, por medio de la cual se puede rápidamente obtener la altura de presa necesaria para embalsar el volumen útil. Por medio de la misma se puede también determinar el aérea necesaria.

Evaporación y filtración.—

Las pérdidas por evaporación se estimaron en 6mm por día en toda la extensión del espejo de aguas. Al cabo de 150 días alcanzarán por lo tanto a 90 cms. de altura de agua.

Las pérdidas por filtración no son generalmente de importancia y aunque les asignamos una altura de 10 cm., las mismas se anulan con el tiempo, pues a medida que pasan los años el fondo del estanque se va impermeabilizando por saturación y colmatación. En algunos casos de terreno muy permeables, arena, tosca o cantos rodados, la filtración puede alcanzar valores altos. Por lo tanto lo más práctico es desechar esos terrenos.

Podemos concretar pues las pérdidas por filtración y evaporación en 100 cm. durante 150 días sin lluvia. Por consiguiente a la altura necesaria de presa para embalsar el volumen útil debe adicionarse un metro, que corresponde a las pérdidas por evaporación y filtración. La altura de presa así obtenida nos da el nivel máximo del lago en remanso estático; a ese nivel se instala la obra necesaria para dar salida a los excesos de agua en épocas de lluvias intensas.

Eliminación de las aguas sobrantes.—

Por tratarse de presas de tierra lo fundamental es que el agua no debe nunca verter por sobre el muro.

En los tajamares que integran el proyecto de "La Carolina" la eliminación de las aguas sobrantes se efectúa por medio de un canal en tierra que encauza las aguas de la presa en una longitud tal como para evitar que, por erosión regresiva, se forme una nueva zanja que inutilice al tajamar.

Para su dimensionado se ha calculado el gasto de máxima o sea el escurrimiento máximo.

Para ello fue necesario calcular el tiempo que demora en llegar hasta la presa el agua que cae en el punto más alejado de la cuenca (T.C.) —tiempo de concentración— y cual es la máxima intensidad de lluvia que es posible que ocurra en ese tiempo. Dividiendo el espacio en metros que recorre el agua por su velocidad en mt/seg. que puede adquirir en su escurrimiento, se obtiene el tiempo de concentración.

El espacio recorrido en cada circunstancia se puede conocer por medición directa en el campo, en tanto que la velocidad se puede obtener en tablas confeccionadas con valores promedios obtenidos en un gran número de observaciones.

Por medio de tablas o gráficas realizadas en base a datos de lluvias, se puede determinar la precipitación máxima que puede ocurrir durante ese tiempo; se obtiene así el valor de la precipitación I mm/hora.

El volumen máximo de precipitación se obtiene multiplicando el área de la cuenca por la máxima precipitación. Pero debido a las pérdidas por evaporación, retención y filtración en su recorrido, sólo una parte de esa agua llega a la presa. Para calcularla empleamos la fórmula:

$$Q = 2.8 \cdot c \cdot I \cdot \Omega$$

en que:

Q = gasto o cantidad de agua en lt./seg.

I = intensidad de agua en mm/hora.

Ω = área de la cuenca en Há.

c = coeficiente de escurrimiento cuyo valor está tabulado y depende del tipo de terreno, de su pendiente y del tipo de vegetación.

En nuestros cálculos hemos tomado $c = 0.45$ por tratarse de terrenos francamente arcillosos con pasturas y suavemente ondulados.

Dimensionado del aliviadero.—

Lo dimensionamos para que escurra el gasto que hemos calculado de modo que la velocidad del agua sea tal que no produzca erosión. Hemos tomado $v = 1$ mt/seg. y sección trapecial con taludes de 4 a 1.

Teniendo en cuenta que el gasto del canal es igual al producto de la velocidad por el área de la sección del mismo hasta la altura que toma el agua (tirante de agua) resulta:

$$Q = A \cdot v$$

Q = gasto en m^3 /seg.

A = área de la sección en mt^2 .

v = velocidad del agua en mt/seg. (valor que hemos supuesto igual a 1 mt/seg.).

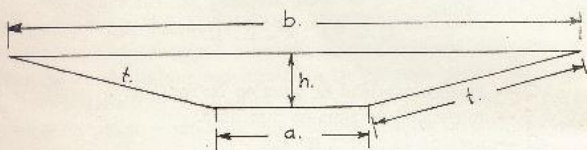
Despejando A en la fórmula anterior:

$$A = \frac{Q}{v} \text{ obtenemos el valor del área.}$$

Hallaremos ahora las dimensiones de los distintos elementos del canal y para ello hemos comenzado por tomar una relación entre el ancho de la base a y el tirante de agua h, común en este tipo de canales en tierra:

a = 30 h. Por lo tanto y teniendo en cuenta que b = a + 8 h, se deduce:

$$B = 38 h$$



$$A = \frac{30 h + 38 h}{2} h = 34 h^2$$

$$h = \sqrt{\frac{A}{34}}$$

fórmula que nos permite calcular el tirante de agua. Por medio de las relaciones anteriores calculamos a y b.

Utilizando la fórmula de Manning:

$$v = \frac{1}{n} R^{2/3} S^{1/2} \text{ en la que}$$

v = velocidad de lagua en mt/seg.

n = coeficiente que depende de la naturaleza del cauce y de su estado de conservación y que está tabulado en diversos textos y manuales.

$$R = \frac{A}{P}$$

R = radio hidráulico que es la relación entre la sección A y el perímetro mojado, en metros. El perímetro mojado es igual a la suma de las longitudes del fondo y los 2 taludes desde el fondo hasta el nivel del agua.

Se puede calcular la pendiente del canal:

$$S = \left[\frac{n v}{R^{2/3}} \right]^2$$

En los cálculos realizados para el proyecto se ha considerado $n = 0.04$ valor correspondiente a cauce sinuoso en tierra, con poco tirante de agua y con hierbas.

Altura total de la presa.—

Será la suma de los siguientes valores:

- 1º) altura necesaria para embalsar el volumen útil.
- 2º) altura correspondiente a la evaporación y filtración.
- 3º) altura de agua en el aliviadero correspondiente a la máxima descarga.
- 4º) altura que dé seguridad o revancha, que debe ser suficiente como para soportar la altura de las olas y su efecto al golpear contra el muro. La revancha se ha calculado por medio de la fórmula:

$$r = h + \frac{v^2}{2g}$$

en que h es la altura de la ola en mt. y v es la velocidad de propagación, que para olas de altura entre 0.50 m. y 2 m. se calcula por:

$$v = \frac{3}{2} + \frac{2}{3} \cdot h$$

La altura de la ola, la hemos calculado por la expresión:

$$h = \frac{1}{2} + \frac{1}{3} \sqrt{L}$$

h = en metros.

L = longitud del espejo de agua entre la cola de la laguna y el muro, medida en línea recta (en Kmts.).

Ancho del coronamiento.—

Se ha calculado por medio de la fórmula:

$$c = 1,1 \sqrt{H} + 0,91$$

c = ancho del coronamiento en metros.

H = altura total del muro en metros. El valor que se obtiene por medio de esta expresión es un valor mínimo.

El ancho c se ha calculado considerando la altura total de presa correspondiente al punto más bajo del perfil longitudinal de la presa y se han proyectado el coronamiento con ancho uniforme. Los valores obtenidos por medio de la fórmula son próximos a los 3 m., valor que se ha tomado para todos los coronamientos, excepto para los tajamares 3 y 4a (ver plano H-6663) que se han proyectado con 5 m. por la necesidad de pasar con rodados sobre ellos y además para evitar deslizamientos de tierra hacia los costados.

Taludes de la presa.—

El talud de aguas arriba se ha proyectado de 2,50 m de base por 1 m. de altura y el de aguas abajo de 2 m. de base por 1 m. de altura; valores éstos para los que no es necesario hacer análisis de estabilidad.

OBRAS ACCESORIAS

Tubería de descarga de fondo.—

Con la finalidad de efectuar la limpieza de la zona del embalse y al mismo tiempo de renovar el agua embalsada se colocará

en cada presa una tubería que la atraviesa en la parte más profunda. Esta tubería es de fibrocemento de 15 cm. de diámetro del tipo a presión y enchufe, y termina del lado del embalse en un codo del mismo diámetro anclado en un dado de hormigón. El codo se tapa con un tapón cónico de hormigón provisto de un gancho y una cadena hasta el coronamiento para facilitar la apertura de la tubería de descarga (ver plano de detalles H-6667)

En la parte de aguas abajo se protegerá con un rejilla que se podrá quitar al proceder al vaciado del embalse. A la salida se coloca un empedrado para evitar la erosión. A lo largo de la tubería se colocan collarines antifiltrantes cada 4 metros para cortar la trayectoria de escape.

Toma de agua.—

La toma se ha proyectado colocando un caño de hierro galvanizado, perforado y cerrado con un tapón dentro de un tanque de acero alquitranado que se apoya sobre el terreno natural al pie del talud de aguas arriba. El tanque se llena con grava y se perfora escalonadamente en su mitad superior (ver plano de detalles H-6667).

Dicho ramal de toma se une en la posición indicada en el plano H-6667 con una tubería de polietileno de 20 mm de diámetro que atraviesa la presa. Esta tubería alimenta a los bebederos.

Bebederos.—

Por no ser permitido el acceso directo de los animales al embalse se han colocado bebederos aguas abajo de la presa, que se alimentarán por gravedad y cuyo flujo se regula por medio de un flotador de bronce del tipo de baja presión. El flotador está amurado a la pared del bebedero y protegido por una tapa de hormigón.

Los bebederos son de hormigón armado y sus detalles pueden verse en el plano H-6667 y se harán en tramos de 2.50 mt. de largo que se intercomunican entre sí en la parte inferior.

Alambrados.—

Con el objeto de no permitir la entrada de animales que ensucian y contaminan el agua y a su vez para proteger la presa y el aliviadero, es conveniente colocar alambrados alrededor del estanque y la obra a una distancia de por lo menos 4 metros.

CONSTRUCCION DE LA PRESA

Previamente a la construcción de la presa se realiza la limpieza del terreno en la zona donde se emplazará y en los lugares donde se extraerá tierra para la misma, arrancando la carpeta vegetal y sus raíces hasta una profundidad de 20 a 30 cm. El material que se extrae se coloca aparte, aguas abajo de la presa para una vez levantada ésta cubrirla con el mismo y facilitar así el enraizamiento de pastos que la protejan. Si se trata de una zanja con barrancas muy marcadas se desmoronan las mismas de modo que la variación de altura del futuro terraplén sea lo más uniforme posible.

Se realiza también la limpieza de árboles, troncos y raíces en toda el área del embalse. Todos los pozos hechos para extraer las raíces dentro del área cubierta por la presa serán rellenados con material sano y apisonado hasta enrasar con la superficie natural del terreno.

A lo largo de la presa y en el centro de la misma se excava una zanja de anclaje del terraplén de 3 mt. de ancho y 1 mt. de profundidad en la forma indicada en los planos H-6667 y H-6663. El fondo de la zanja y el área a cubrir por la presa es escarifican para asegurar una adecuada ligazón entre la fundación y el material depositado sobre ella. La zanja se rellena con arcilla húmeda seleccionada, que se esparce en capas no mayores de 15 cm, y que se compactan energicamente para formar un atajo impermeable.

La presa se empieza a construir en la parte más profunda en capas aproximadamente horizontales y paralelas al eje longitudinal de la misma, de un espesor no mayor de 20 cm.

Cada capa se escarifica previamente en todo su espesor para extraer los restos vegetales y se compacta inmediatamente con los equipos utilizados en su construcción y con la energía de compactación que en cada caso sea la más conveniente.

Al llegar a la altura suficiente para colocar las tuberías de descarga de fondo y la de la toma de agua, se suspende el agregado de nuevas capas. Se abren zanjas para colocarlas; una vez colocadas se cubren con tierra y se apisona bien con pisón de mano.

Es conveniente prohibir el pasaje de maquinaria pesada sobre las tuberías colocadas, hasta no estar cubiertas con una capa de tierra apisonada de 50 a 60 cm. de espesor.

Si se producen lluvias durante la construcción se podrá proseguir la obra una vez que esté seca la parte construída, haciendo previamente un rastreado de la superficie con el objeto de que las nuevas capas formen liga con la capa anteriormente compactada.

La presa se hace en toda su longitud un 10 % más alta que la altura final proyectada con el fin de compensar el asentamiento posterior.

Para este recargo se utiliza tierra vegetal que fue separada previamente al efectuar la limpieza del terreno.

DIRECCION DE HIDROGRAFIA

CUERPO DE PROFESIONALES AL 31 DE MAYO DE 1965

DIRECTOR (Int.)

Ing. Civ. CONRADO SERRENTINO

SUB-DIRECTOR

Ing. Civ. FLORENCIO MARTINEZ BULA

INSPECTOR GENERAL

Ing. Civ. JULIO C. ETCHART

INGS. CIVILES JEFES DE DEPARTAMENTO

RICARDO MULLER - RAUL SANGUINETTI - ALBERTO PITZER -
LUIS A. SALERNO (Int.) - CARLOS AVALLONE (Int.) y
LUIS A. RODRIGUEZ (Int.)

INGS. CIVILES JEFES DE SECCION

TABARE PALAS - ARMANDO POZZOLI y GERMAN ABASCAL

INGS. INDUSTRIALES

PEDRO ROVIRA y MIGUEL A. PEREZ MAGNOU

INGS. CIVILES

JULIO C. CAZABAN - LUIS A. CAMPODONICO - CARLOS M. ALCOZ
LORENZO DE NICOLA - ERNESTO MASSOLLER - RUTH QUIROS
DE GOMEZ - JUAN J. MARTINEZ y HUGO VALLARINO

AGRIMENSOR JEFE

CARLOS NARIO

AGRIMENSORES

DANILO BOGGIO - GERMELINO LOPEZ FERNANDEZ - CARLOS ARZUA
HUGO VIGANO - RODOLFO FARRO y JUAN R. BARTESAGHI

ARQUITECTO

JULIO C. BUTLER