

El gasto que origina el establecimiento de los filtros que acabamos de describir, es corto con relación á la gran utilidad que prestan.

México, Abril de 1911.

CARLOS MACÍAS



SECRETARIA DE FOMENTO

Boletín núm. 28

Estación Agrícola Experimental de Ciudad Juárez

CHIHUAHUA



PRESAS DE TIERRA

(SEGUNDA EDICION)



MEXICO

IMPRESA Y FOTOTIPIA DE LA SECRETARIA DE FOMENTO
Primera calle de Betlemitas núm. 8

1912

LIBRERIA ALFONSO
CALLE DE LA UNIV. 100

LIBRERIA ALFONSO
CALLE DE LA UNIV. 100

Estación Agrícola Experimental de Ciudad Juárez

PRESAS DE TIERRA



MEXICO

IMPRESA Y EDITORIA DE LA UNIVERSIDAD DE CHIHUAHUA

PRESAS DE TIERRA

Generalidades

Es de gran importancia en agricultura el acaparamiento de las aguas, ya sean pluviales ó provenientes de corrientes superficiales y para llevarlo á efecto, siempre que las condiciones geológicas, topográficas y económicas lo permitan, se recurre á construcciones especiales que reciben el nombre genérico de presas.

Según la localización de aquéllas se pueden dividir en las siguientes categorías:

- 1.ª Vasos ó cuencas naturales.
- 2.ª Depósitos situados en terrenos de pendiente natural, tal como ocurren en los valles ó cañadas á través de los que se deslizan corrientes más ó menos importantes.
- 3.ª Depósitos que están en parte ó totalmente contruídos artificialmente.
- 4.ª Construcciones que sirven para desviar una corriente, con el objeto de llevar las aguas á otra cuenca distinta de aquella por donde corren naturalmente. A éstas se les da el nombre de presas de desviación.

En los depósitos de la *primera categoría*, no hay que hacer gasto alguno para el acaparamiento del agua, siendo sólo necesario un tajo ó corte más ó menos pro-

UNIVERSIDAD DE CHIHUAHUA

UNIVERSIDAD DE CHIHUAHUA

fundo y un sistema de canales y compuertas para dar salida al líquido almacenado. Por eso se consideran estos depósitos como los más baratos. En los Estados Unidos se ha calculado que el gasto para su aprovechamiento será de \$ 324 por cada mil metros cúbicos de agua almacenada en los casos más favorables, y de \$ 4,864 en los menos favorables.

Los de la *segunda categoría*, son por lo general los más abundantes, aunque su construcción es más costosa debido á las precauciones que habrán de tomarse en ella para poner á salvo el bordo ó el muro, del peligro que traerían las grandes avenidas, el cual sólo podrá conjurarse dotando á la presa de desagües bien contruídos y debidamente calculados.

Los de la *tercera categoría*, ó sean los tanques, como se dijo antes, son construcciones que por lo reducido de sus dimensiones, pueden hacerse aun en terrenos de condiciones topográficas poco favorables. Por otra parte, estos se construyen en aquellas regiones donde el agua es sumamente escasa y por esta razón es indispensable obtenerla á cualquier precio.

El método más común empleado en su construcción, consiste en levantar bordes sobre la superficie general del suelo, aprovechando para éstos la tierra que se saque del interior del mismo tanque, cuidando que la excavación que se haga no sea tan profunda que dificulte la salida del agua almacenada, desde el momento en que esta operación se hará necesaria de vez en cuando, ya sea para limpiarlo ó para la renovación del agua. Por otra parte, la profundidad no debe ser demasiado pequeña, porque en este caso las pérdidas por evaporación y filtración serán mayores y será más probable la aparición de hierbas acuáticas que disminuyen bien

pronto la capacidad del tanque, y aumentan las pérdidas por evaporación. Para evitar los inconvenientes antes señalados y muy especialmente la invasión del tanque por hierbas acuáticas, se recomienda no dar á éste una profundidad menor de 2 metros.

Los de la *cuarta categoría* son también comunes, pues es muy general la práctica de desviar las corrientes, ya sea para conducir el agua directamente hasta los terrenos irrigables ó también porque algunas veces no hay en la cuenca por donde corre un arroyo dado, un sitio adecuado para el almacenamiento del agua que aquel acarrea, estando en cambio muy próxima otra cuenca en que existen vasos que pudieran llenarse fácilmente con los recursos de la primera cuenca.

Diversas condiciones que afectan á una presa

Hay varios factores que afectan tanto la utilidad como el valor intrínseco de una presa, siendo los principales los siguientes:

- 1.º Situación del vaso respecto de los terrenos que se pretende regar.
- 2.º Las condiciones hidrográficas de la presa, ó sean los recursos naturales con que cuente para el mayor acaparamiento de agua.
- 3.º La topografía del sitio en que se encuentran.
- 4.º Geología y propiedades físicas del terreno.

El costo del agua almacenada dependerá principalmente de los dos últimos factores, mientras que la utilidad del depósito y probabilidades de llenarlo, dependerán de los dos primeros.

SITUACIÓN.—Respecto á esta condición debemos hacer las siguientes consideraciones:

1.º Que el punto más profundo de la presa (fondo), deberá ser más alto que la parte más elevada del terreno irrigable, á fin de que el agua corra naturalmente, domine todas las tierras y las pérdidas se reduzcan al mínimo.

2.º Que la extensión del terreno laborable sea suficiente para el completo aprovechamiento del agua susceptible de almacenarse.

3.º Que el objeto á que la presa se destina corresponda al costo del agua, ó en otras palabras, que el máximo de utilidad pueda sacarse del agua.

4.º Que el terreno por regar esté tan cerca del depósito como sea posible con el objeto de que las pérdidas por filtración en los canales se reduzcan al mínimo. Sucede, sin embargo, que muchas veces es preciso construir la presa muy lejos de los terrenos de cultivo, en cuyo caso resultan las siguientes desventajas: Resultan costosos los canales muy largos; las pérdidas que tienen lugar en éstos, debido á la evaporación y filtración, están en razón directa de su longitud, y finalmente, los gastos para limpiar esos canales y mantenerlos en buen orden son también más grandes.

HIDROGRAFÍA.—Los recursos del vaso para asegurar su mayor acaparamiento, es asunto de la mayor importancia, puesto que de esto dependerá en gran parte, como antes se dijo, la utilidad de la presa. Estos recursos pueden ser de tres clases. Bien pueda tratarse de una ó varias corrientes más ó menos constantes que no se agoten en el curso del año, como arroyos, manantiales, etc., en cuyo caso tal vez sean suficientes para llenar la presa. En otros casos, y esto es lo más común, puede tratarse de corrientes intermitentes ó simplemente de las aguas de lluvia.

En el último caso de los indicados antes, es cuando más importa que la presa tenga una extensa cuenca hidrográfica para que pueda esperarse un buen acaparamiento de aguas pluviales, en cuyo caso sólo un 10% de la precipitación, aproximadamente, irá á parar al vaso. Decimos que aproximadamente, porque esto, como es natural, dependerá de la naturaleza del suelo, la inclinación y clase de vegetación que lo cubra.

No obstante, este dato es el resultado de observaciones hechas en una vasta zona de los Estados Unidos, tal como puede considerarse todo el Estado de Wyoming, especialmente adecuada para este estudio.

El Sr. Ing. D. Manuel G. de Quevedo, que es una autoridad en materia de irrigación, en una conferencia que dió en la Escuela de Ingenieros de Guadalajara, el día 28 de Enero de 1912, hace referencia á este punto y presenta acopio de datos valiosísimos, producto de su experiencia y estudio personales que ha llevado á cabo durante varios años en algunos distritos del Estado de Jalisco.

Además de hacer constar el Sr. de Quevedo las causas tan diversas que hacen variar la proporción del agua acaparada con respecto á la llovada (que son más ó menos las mismas que hemos indicado ya), termina haciendo una exposición de sus propias observaciones durante siete años consecutivos en algunas presas de su propiedad.

Copiamos íntegros esos datos por considerarlos de suma importancia desde el momento en que constituyen una feliz coincidencia respecto de las observaciones hechas en el Estado de Wyoming, EE. UU., en condiciones bien diversas. Por lo demás esto viene á corroborar la opinión del mismo Sr. de Quevedo, quien en el curso de

su conferencia dice lo siguiente, refiriéndose á la precipitación en Jalisco. "No se crea sin embargo que esa cantidad de agua se aprovecha toda ó siquiera gran parte de ella en los depósitos. En esta materia falta mucho que estudiar y no hay obras en México que traten del asunto.

"La evaporación y filtración en el terreno consumen gran parte del agua llovida y es ilusión hacer números, como generalmente se hacen, al suponer que la mitad ó cerca de ella es la que se puede captar en los depósitos."

El siguiente cuadro es el que presenta el distinguido conferencista á que hemos hecho mención.

1895.....	12	%
1896.....	11.8	,,
1897.....	10.7	,,
1898.....	15.5	,,
1899.....	3.9	,,
1900.....	12	,,
Promedio en los siete años.....	10	,,

Como se ve hay grandes diferencias de proporción del agua acaparada en los distintos años y esto lo atribuye el Sr. de Quevedo á la distribución de las lluvias, magnitud de éstas, relación de la cuenca con respecto á la forma y tamaño del vaso y otros muchos factores que ya se han mencionado y que hacen variar de un modo notable el volumen de las aguas que van á parar al depósito.

En todo caso será conveniente ejecutar ciertos trabajos especiales á fin de que todas las aguas disponibles entren al depósito de la presa.

La topografía del terreno es otro factor no menos importante que el anterior, pues fácilmente se compren-

de que el costo de una presa será tanto menor cuanto más favorable sea la forma natural del vaso y no sólo esto, sino que la cantidad de agua susceptible de acaparse con el menor costo posible, será tanto mayor cuanto mejor sea la mencionada forma de la superficie sumergida y menor la inclinación del terreno.

Si encontramos un sitio en que las montañas ó colinas que limitan el valle, presentan un estrechamiento ó garganta fácil de interceptarse con un bordo ó muro de poca extensión y costo, y en que por otra parte, la poca pendiente del terreno permita un gran retroceso del agua, sería natural preferirlo á otro en que fuera necesario un bordo muy largo, que resultaría mucho más costoso que el primero, máxime si el terreno tuviera una pendiente tan grande que se hiciera necesario elevar la cortina considerablemente para lograr una capacidad conveniente del depósito. Por otra parte, las condiciones topográficas permiten á veces la adopción de desagües económicos.

Constitución Geológica del Suelo

La naturaleza del suelo y de las capas inferiores goza un gran papel en la eficacia de la presa, desde el momento en que la duración del agua almacenada dependerá en gran parte, como antes se ha dicho, de las propiedades físicas del terreno en que se encuentra ubicada.

Si es de suma importancia conocer la naturaleza del terreno en toda la extensión cubierta más tarde por las aguas de la presa, lo es mucho más tratándose exclusivamente del subsuelo en que se va á hacer la cimentación del bordo ó muro de la presa.

EXPLORACIÓN DEL TERRENO.—Tres métodos más co-

munes pueden ponerse en práctica para la exploración de las capas subyacentes, como sigue:

- 1.º Por el empleo de la sonda ó varilla de hierro.
- 2.º Abriendo pozos de vista ó de cala.
- 3.º Empleando máquinas perforadoras.

El primer sistema es el más económico pero á la vez el que da resultados menos precisos. Empléase para el efecto una varilla de fierro redonda con punta y cabeza aceradas, de 10 á 13 milímetros de diámetro y que se introduce verticalmente en el terreno á golpe de mazo. Mientras va penetrando en terreno suave camina fácilmente, pero tan pronto como encuentra una piedra ó un manto de roca se detiene luego, conociéndose así por la longitud de la varilla, la profundidad á que habrá necesidad de hacer la excavación para la cimentación. No obstante, sucede á menudo que cuando la sonda ha penetrado mucho, la simple fricción de las partículas terrosas es bastante para detenerla, habiéndose observado que después de dos metros no penetra más ni en terrenos de migajón. Otras veces tropieza la varilla con el lecho casajoso de alguna corriente subterránea ó con un canto rodado y se detiene, pudiendo creerse con esto que ya ha llegado á una roca firme. Finalmente, por este sistema no llegaremos nunca á conocer las diferentes capas del subsuelo como conviene.

El segundo medio es ventajoso desde el punto de vista del perfecto conocimiento de las diversas estratas ó mantos subyacentes y el orden en que se encuentran colocadas, pero tiene también sus inconvenientes en determinados casos.

Si se opera en terrenos secos y á corta profundidad no resultan costosos, porque puede trabajarse cómodamente, pero si á poca profundidad principian á aparecer

corrientes subterráneas, se hace entonces indispensable recurrir á los agotamientos para facilitar el trabajo de excavación y aparte de que esos agotamientos resulten casi siempre costosos, cuanto más se profundicen esos pozos, mayores serán las dificultades y los gastos.

Por último, el tercer sistema ó sea el uso de máquinas perforadoras, es el más económico en concepto de muchos ingenieros y á la vez el que suministra indicaciones más seguras.

Es más exacto porque se pueden ver claramente las muestras que la cuchara de la máquina va sacando.

Estas máquinas si bien es cierto que dan excelentes resultados tienen en su contra su alto precio y como sólo contados contratistas podrán hacer un grande desembolso para obtenerlas, creemos que en la generalidad de los casos son de recomendarse los pozos de cala, que como antes hemos dicho, dan indicaciones bastante buenas y que no resultan muy caros si se hacen retirados de trecho en trecho.

Cualquiera que sea el medio puesto en práctica para estos reconocimientos, debe tenerse presente que la conformación de los terrenos es sumamente variable y por tanto no convendría contentarse con los datos que pudiéramos obtener del reconocimiento de dos ó tres puntos muy lejanos los unos de los otros, sino se harán pozos en varios puntos bien distribuídos en el terreno para tener datos más seguros.

Por la exploración del subsuelo, como se acaba de indicar, se viene en conocimiento no sólo de su naturaleza, sino también de la inclinación de los mantos de roca, que importa mucho conocer á este respecto, se presentan casos generales más frecuentes, que son los siguientes:

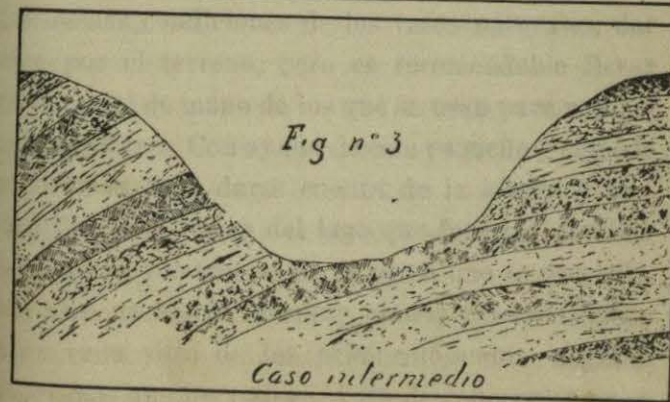
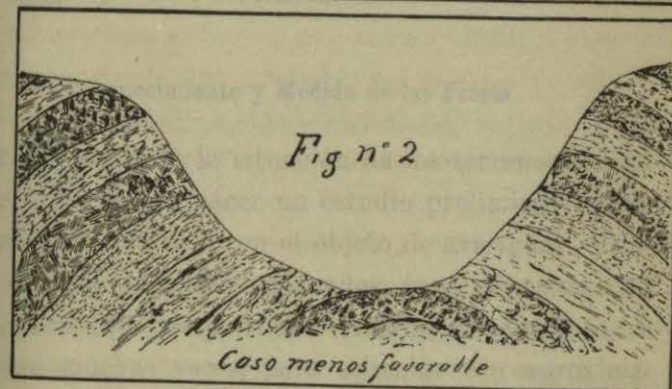
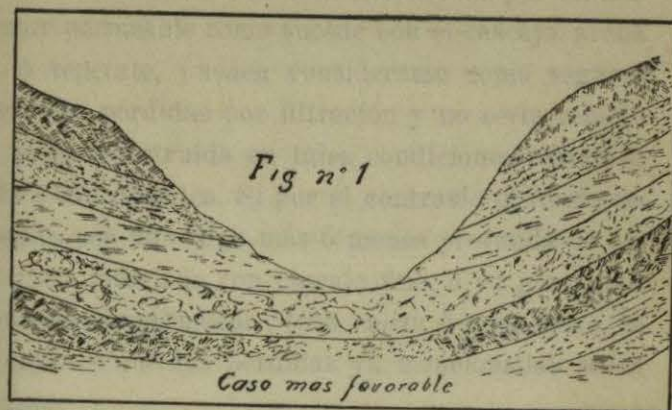
1.º En que la dirección de los mantos converge hacia el centro del depósito, como se ve en la fig. 1. Esta disposición de las capas es la más favorable, puesto que el agua de lluvia que se infiltra en las montañas de los flancos tiende á aumentar el volumen de las aguas acaparadas.

2.º Cuando los mantos son divergentes, ó sea cuando están inclinados hacia afuera, como se ve en la fig. 2. Huelga decir que este es el caso menos favorable, puesto que las filtraciones tenderían á llevar hacia fuera del depósito gran cantidad del agua almacenada.

3.º En que los mantos de uno y otro lado siguen una misma dirección, según indica la fig. 3, este es el caso intermedio de los dos anteriores, y si es cierto que no es el mejor, sí puede asegurarse que es el más común y que es del todo aceptable. Aquí las pérdidas que tienen lugar debido á las filtraciones que se verifican por un lado, quedan compensadas con el contingente de las del lado opuesto.

El primer caso es frecuente en las cañadas ó valles de poca amplitud relativa. El segundo es excepcional y sólo ocurre en las cumbres de las montañas, mientras que el tercero, como ya se dijo, es el más frecuente de los tres.

Como quiera que sea es conveniente tener en cuenta estas diversas disposiciones geológicas, pues de esta manera procuraremos en lo posible evitar la construcción de una presa en algún sitio donde se ven al descubierto las cabezas de las diferentes capas ó mantos, con tanta mayor razón si su inclinación es divergente al depósito, puesto que ya podremos imaginarnos las pérdidas que tendrán lugar por ellas. Debemos advertir sin embargo, que suelen presentarse algunos casos en que pueden re-



mediarse fácilmente los inconvenientes de esta desfavorable condición y no sería prudente abandonar un proyecto sin hacer antes un cuidadoso estudio del mismo.

Cuando el fondo del vaso está constituido por un material muy permeable como sucede con el cascajo, arena gruesa ó tepetate, pueden considerarse como seguras considerables pérdidas por filtración y no sería remoto que la presa construída en tales condiciones resultara del todo antieconómica. Si por el contrario el fondo está formado por una capa más ó menos profunda de arcilla, pura ó mezclada con cascajo fino, ó ya por algún otro material impermeable, toba caliza ó roca firme, se puede esperar que las pérdidas ya mencionadas serán casi nulas.

Reconocimiento y Medida de las Presas

Una vez conocida la situación de los terrenos irrigables, se procederá á hacer un estudio preliminar de los terrenos circunvecinos con el objeto de averiguar el número y clase de sitios adecuados para depósitos. Al efecto, para aquellas personas versadas en el asunto, es suficiente muchas veces, para apreciar con aproximación las buenas condiciones de los vasos naturales, dar un paseo por el terreno, pero es recomendable llevar consigo un nivel de mano de los que se usan para reconocimientos militares. Con ayuda de este pequeño y cómodo instrumento, es fácil darse cuenta de la altura ó profundidad del vaso, forma del lago que formará, inclinación del terreno y retroceso de la presa que se proyecta. Después será necesario levantar planos y hacer nivelaciones en cada sitio de los primordialmente elegidos, de los terrenos que los rodean, á fin de conocer su cuen-

ca hidrográfica y aun de cada corriente que venga hacia el depósito que se proyecta, será conveniente averiguar su descarga máxima y mínima anual.

Para este efecto serán de gran utilidad los informes que pueden suministrar los ancianos conocedores de la comarca, además de las observaciones que deberán hacerse en el terreno, tales como las que se refieren á las señales que las corrientes dejan casi siempre en las márgenes, según la altura que han alcanzado sus avenidas, la clase de vegetación, inclinación, sección transversal del arroyo, etc., etc.

Como además de estos datos sería conveniente conocer con la mayor exactitud posible, lo relativo á la pluviometría, evaporación y filtración y aguas torrenciales, y siendo estos asuntos de la mayor importancia para poder prever con aproximación la eficacia de una presa, trataremos esto en capítulo por separado.

Habiendo determinado de un modo general la localización del sitio adecuado para la presa, se procederá á hacer un levantamiento detallado del mismo y la marcha de las operaciones será como sigue:

1.º Una vez elegido el punto que parezca ser el más adecuado para la situación del bordo ó cortina, en virtud de la naturaleza del suelo y subsuelo, la menor extensión de la cortina que habrá de construirse y mejor situación respecto de los terrenos por regar, se fija un trompo ó punto de referencia en la parte más baja del arroyo, ó mejor, á la altura que deberá tener la plantilla de la compuerta, ó de la compuerta más baja, si se proyectan varias. Desde ese punto y trazando una línea de contrapendiente, vamos con nuestro nivel, á fijar en la falda de la colina un punto cuya altura con respecto al primero, sea igual á la altura que proyectemos dar á

la cortina. Del mismo modo se procede hacia el lado opuesto, á fin de tener ya fijados los dos extremos del bordo.

2.º A continuación se trazará una curva de nivel que se denomina curva máxima, partiendo de uno de los puntos ya fijados. Esa curva, como se comprende, representa el contorno superior del depósito lleno hasta esa altura. Para esto se irán dejando señales en los puntos á nivel que se van determinando, para cuyo objeto se emplean estacas de 1 mto. á 1.50 mto. de altura, que se clavan verticalmente en el suelo, poniéndoles un pequeño lienzo blanco para hacerlas más visibles. Según la extensión é importancia del vaso, pueden colocarse esas banderitas cada 50, 75 ó 100 metros, siendo bastante medir esas distancias de un modo aproximado.

3.º De la misma manera que se trazó la curva máxima, se trazan otras á distinta altura, que puede variar desde 0.10 mts. hasta 1.00 mto., dependiendo de la exactitud que se pretenda. Pero como este sistema es sumamente dispendioso, es más recomendable el que consiste en trazar brechas transversales, paralelas en lo posible á la dirección del bordo para mayor comodidad en los cálculos ulteriores. En esas brechas se hacen otras tantas nivelaciones de uno al otro extremo, con el objeto de ir marcando igualmente con banderitas de distinto color, ó simplemente con estacas debidamente numeradas, los puntos correspondientes á las curvas 1...2...3...4, etc., que indican su altura sobre el plan del bajío. Por último, muchos ingenieros acostumbra trazar una línea, que partiendo del bordo ó cortina sigue por la parte más baja de la cuenca hasta ir á cortar la curva máxima en la cola de la presa. Como esta línea va cortando todas las curvas de nivel, servirá para hacer un

trazo con más exactitud y aproximar mejor los cálculos.

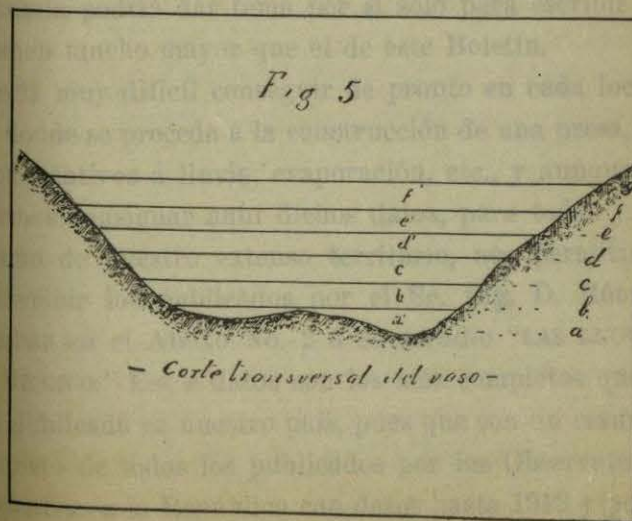
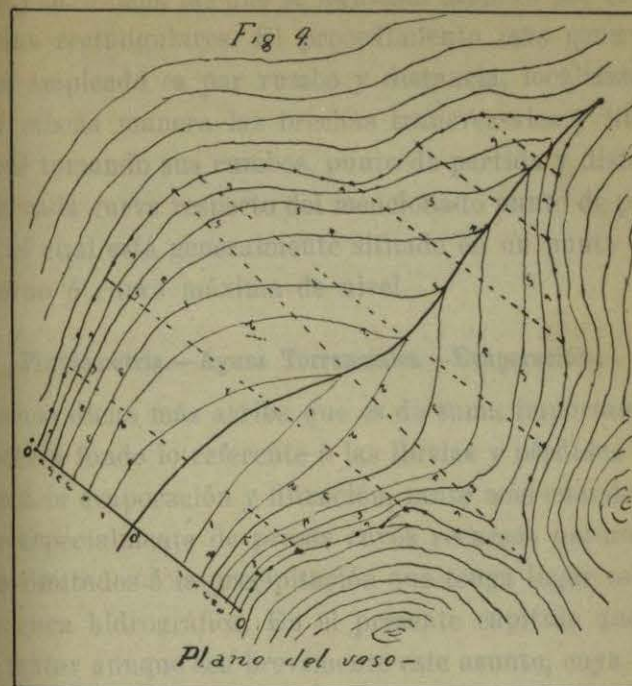
En la fig. 4 la línea gruesa 0, 0', 0'', nos representa el bordo ó cortina, siendo el punto 0' el más profundo y 0, 0'' los extremos. Los puntos negros del contorno indican las banderitas que se han fijado para marcar la curva máxima; las líneas 1.1.1.....2. 2.2.....3.3.3....., las curvas de nivel á distinta altura y la línea llena central la que corta todas las curvas de nivel en su mayor retroceso.

Como se comprende el trazo de estas curvas de distinta altura se hacen con el objeto de poder calcular con mayor aproximación la capacidad del depósito, como veremos después. Debemos advertir que cuando el vaso está comprendido entre un cerro y un plano inclinado, más ó menos extenso, pueden suprimirse las curvas de nivel por el lado del cerro, pues se supondrán triangulados los perfiles por ese lado, y cuanto más escarpada sea la eminencia dicha, menos apreciable será el error que pueda cometerse.

4.º Después de las operaciones que se acaban de indicar, las cuales se han practicado con la ayuda casi exclusiva del nivel, se procede á continuación al levantamiento propiamente dicho. Para esto puede uno servirse de instrumentos más ó menos precisos, siendo en ocasiones suficiente desde una brújula de mano, pero un buen teodolito es preferible para trabajos importantes.

El levantamiento debe principiarse por la curva máxima de nivel, siguiendo después con las brechas transversales y por último con el eje y plano de la cortina.

Para lo primero, y como no sería práctico dar al plano tantos lados cuantas señales hemos puesto para demarcar la curva máxima, convendrá hacer diversos alineamientos de suerte que nuestro polígono resulte



con el menor número posible de lados. Al efecto, se procura trazar líneas grandes que vayan dejando banderas á uno y otro lado, las que se localizan después por coordenadas rectangulares. El procedimiento más generalmente empleado es por rumbo y distancia, localizando de la misma manera las brechas transversales y línea central tomando sus rumbos, punto de partida y distancia de cada curva respecto del mencionado punto de partida, el cual está generalmente situado en un punto del contorno ó curva máxima de nivel.

Pluviometría.—Aguas Torrenciales.—Evaporación

Hemos dicho más arriba que es de suma importancia conocer á fondo lo referente á las lluvias y pérdidas debidas á la evaporación y filtración, tanto más cuando se trate especialmente de presas cuyos recursos naturales estén limitados á la precipitación que tenga lugar sobre su cuenca hidrográfica. En el presente capítulo queremos tratar aunque sea brevemente este asunto, cuya importancia podría dar tema por sí solo para escribir un volumen mucho mayor que el de este Boletín.

Sería muy difícil conseguir de pronto en cada localidad donde se proceda á la construcción de una presa, los datos relativos á lluvia, evaporación, etc., y aunque no podemos consignar aquí dichos datos, para todos y cada uno de nuestro extenso territorio, nos permitimos transcribir los publicados por el Sr. Ing. D. Rómulo Escobar en el Anexo No. 2 á su estudio "LAS LLUVIAS EN MÉXICO." Estos datos son los más completos que se han publicado en nuestro país, pues que son un resumen completo de todos los publicados por los Observatorios existentes en la República con datos hasta 1912 y posteriores á 1877.