

Presas de tierra construídas por procedimiento hidráulico

Presas de Cobble Mountain y de Saluda (E. U.)

I

Se están terminando, en los Estados Unidos, dos presas de tierra que merecen se les dedique algún espacio en esta REVISTA. La de Cobble Mountain tendrá 74,70 metros, con 1 500 000 metros cúbicos de volumen, y embalsará 88 millones de metros cúbicos de agua. La de Saluda tendrá 63,40 metros de altura, 8 400 000 metros cúbicos de tierras y almacenará 2 800 millones de metros cúbicos de agua.

La sola enunciación de estas cifras, teniendo en cuenta, además, que se trata de presas de tierra, basta para comprender la importancia de estas magnas obras.

El procedimiento de ejecución, en las dos, es el de arrastre y sedimentación hidráulica, bastante generalizado en algunas regiones de los Estados Unidos y que no ha tenido igual favor en otras partes del planeta, quizás por las dificultades y peligros que tal modalidad lleva en sí, tal vez porque la economía que se obtiene al disminuir la mano de obra es menor que en los Estados Unidos y la han supeditado a la mayor seguridad que se consigue en el procedimiento de ejecución por tongadas y apisonado, ya porque las presas de tierra que se suelen construir fuera de dicha nación no alcanzan alturas y volúmenes tan considerables como en ella, y, por tanto, el ahorro de coste es de menor entidad.

Digna de mención entre las presas de tierra importantes es la de Sotonera, de la Confederación del Ebro, que se construye actualmente y tendrá 32 metros de altura, una longitud de 4 367 metros, cubirá 4 300 000 metros cúbicos de tierras y embalsará 190 millones de metros cúbicos.

Por no ser, como digo, fuera de los Estados Unidos usual el procedimiento hidráulico, si bien no puede reputarse como moderno por datar de cerca de medio siglo, voy a dar alguna idea de él y de los peligros que envuelve.

En la época actual, al aumentar con la mayor utilización de la energía hidroeléctrica y la intensificación de los riegos la necesidad de almacenamiento de aguas, y teniendo en cuenta que los embalses grandes proporcionan mayor economía que los pequeños en el metro cúbico del agua embalsada o en el kilovatio-hora producido, se han ido sucediendo los proyectos de presas en los que para embalsar grandes volúmenes de agua se requieren considerables alturas en aquéllas. En las ubicaciones en las que por ser muy abiertos los valles o por circunstancias de cimentación, por economía, al fin, no es conveniente el tipo de presa de fábrica, al adoptar el de tierra, como a medida que la altura de aquélla crece, conviene dar taludes más suaves al perfil, para no exponerse a deslizamientos de las tierras y ruina de la presa, el volumen del metro lineal de ésta crece en mayor proporción que el cuadrado de la altura. Y si a esto se añade que aumenta con ésta la longitud de la presa y con ella también el volumen total de tierras, se llega a una cubicación de éstas que alcanza cifras

elevadísimas, siendo la máxima, hasta ahora, la antes citada para la presa de Saluda, de 8 400 000 metros cúbicos.

Si estas voluminosas presas tuvieran que ejecutarse por el procedimiento corriente de tongadas de tierras elegidas con composición adecuada o conseguida con mezclas de otras de apropiadas características para obtener la debida proporción, a los efectos de la impermeabilidad y estabilidad, entre las gravas, arenas y arcillas, tongadas que se someten a intenso apisonamiento, el precio total sería elevadísimo. Y aparte de esto, existe la dificultad de encontrar volumen suficiente y a distancia económicamente asequible de tierras de composición aceptable.

Los americanos, en muchos de estos casos, para conseguir la deseada economía, han empleado y emplean, especialmente en California, el procedimiento de arrastre y sedimentación hidráulica. Consiste en atacar las tierras en su situación originaria, con las que se quiere formar la presa, con chorros de agua a presión de 8 a 12 atmósferas (fig. 1.^a). Las tierras emulsionadas por el agua son recogidas en canaletas o tuberías, que, con inclinación adecuada para el transporte del material sólido arrastrado por el agua, las llevan al punto de ubicación de la presa (figuras 2.^a y 3.^a). Antes, se ha limitado la zona de ésta por



Fig. 1.^a Ataque de tierras con chorro de agua para la formación de la presa de Fernando (California), de 44 m de altura

diques de escollera o material térreo o por palizadas de madera, situados junto a los paramentos de aquélla. Las canaletas o tuberías desembocan junto a estos atajamientos, formando una gran charca, en la que se va sedimentando el material sólido, en orden inverso de tamaño a la distancia de ingreso en la charca; es decir, el más grueso, cerca de los puntos de desembocque; el más tenue, en la parte más alejada, esto es, en la zona media. Así, la presa queda constituida por un núcleo central impermeabilizador formado por la sedimentación del material más tenue y acompañado o abrigado, agua arriba y agua abajo, por espaldones de material más grueso, que contribuyen a la estabilidad. De modo que, en esencia, se forma así una presa análoga a la del tipo inglés, en la que el

núcleo central impermeabilizador es arcilloso y va cubierto por espaldones de tierras de peor calidad que abrigan y protegen a aquel de la fluidificación cuando está lleno el embalse, y de la desecación y agrietamiento cuando está vacío.

El agua sobrante de la charca se evacua a través de los diques laterales y por aliviaderos.

Este ingenioso procedimiento tuvo su origen en la explotación de los placeres auríferos, en los que al ser deslavadas las tierras y arrastradas sus partículas, éstas se sedimentaban luego, constituyendo bancos de gran consistencia. Se utilizó más adelante esta

peligros a que después me referiré. Por tanto, hay que seguir, con sutil observación, la marcha de los trabajos, dirigiendo las aguas por palizadas, para que no se formen en la charca corrientes de agua que lleven el material permeable a la parte central, ni dejando sedimentar los elementos excesivamente tenues (menores de 0,01 milímetros), a cuyo efecto se dará a los aliviaderos la altura y capacidad en relación con el caudal afluente, y se recrecerán los diques laterales cuando la altura del aliviadero y profundidad de la charca lo requieran.

No siempre se encuentran los materiales térreos

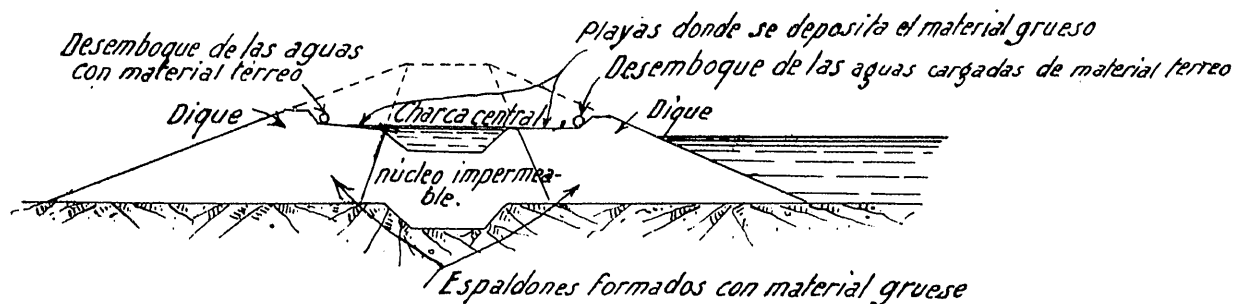


Fig. 2.ª Sección esquemática de presa de tierra construida con el procedimiento hidráulico

idea para formar presas de altura escasa para determinar depósitos de sedimentación de dichas materias, en aquellas explotaciones, con el fin de no perjudicar a los usuarios de los aprovechamientos de agua inferiores y a la navegación, en los ríos en que se efectuaban aquéllas. Y luego ya entró en uso para la formación de embalses con destino a riegos y producción de energía hidroeléctrica.

La sola enunciación del método sugiere la necesidad de vigilar la marcha de la sedimentación, y dentro de ella la relación entre el caudal afluente, sección mojada de paso de éste, cauces que cree dentro

adecuados para la formación de las presas a altura y distancia convenientes para el transporte por gravedad después de mezclados con el agua. Cuando quedan muy alejados, se excavan por medios mecánicos (palas, dragas, etc.) y se transportan por trenes que terminan su recorrido sobre vías colocadas en caballetes que se sitúan junto a los paramentos de la presa y desde donde se vierten las tierras, formando los diques laterales. Los taludes interiores de éstos son atacados con chorros de agua a presión desde chalanas que flotan en la charca. Este procedimiento se llama por los norteamericanos semi-hidráulico (*semi-hydraulic fill*), y el anterior se denomina simplemente hidráulico (*hydraulic-fill*). La figura 4.ª indica esquemáticamente el perfil de la presa de Sommerset (E. U.), construida semi-hidráulicamente.

Otras veces, encontrándose cerca de la presa las tierras, no están a suficiente altura para transportarlas con corriente de agua, por gravedad. Entonces, atacadas por los chorros de agua y recogida la mezcla al pie de los taludes, es elevada a la charca central por medio de bombas. Así, en la presa de Fernando, de 44 metros de altura, que sirve para embalsar 28 millones de metros cúbicos de agua para abastecimiento de los Angeles (California), se atacaban, con chorros de agua a presión de 12 atmósferas, utilizando lanzas de 5 centímetros de diámetro, colocadas en mangas de 10 centímetros, las tierras, cerca de la presa, en un radio de 900 metros. Las tierras contenían un 20 por 100 de arcilla. La mezcla, con un 10 por 100 de materia sólida, era impelida por bombas centrífugas en tubos de 35 centímetros de diámetro, pudiendo alcanzar la altura de 15 metros, lo que hacía preciso tres sucesivas elevaciones para los 44 metros de la presa. Se consiguió así colocar en obra 3 000 metros cúbicos de tierras diariamente.

La formación del núcleo impermeabilizador con materiales excesivamente tenues tiene el inconveniente de que, al aglomerarse entre sí llenando el agua los huecos entre partículas, por ser éstos exce-

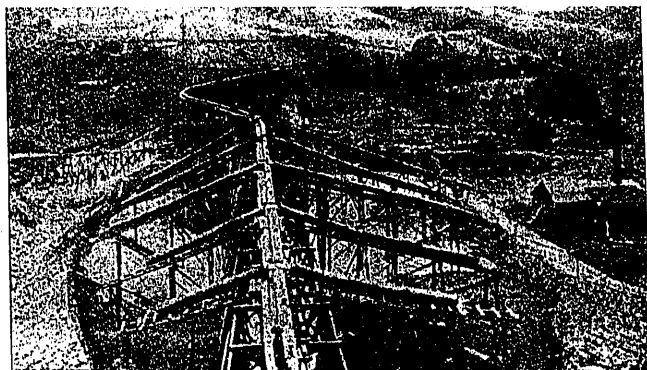


Fig. 3.ª Desemboque de la mezcla de agua y tierras en la presa de Tenango (México), de 12 m de altura

de la charca, altura y capacidad de los aliviaderos, etcétera, pues si la velocidad de las aguas en la parte central es mayor que la necesaria para depositar el elemento tenue que ha de constituir el núcleo impermeabilizador, será aquél arrastrado y evacuado por los aliviaderos, y la zona media se formará con materiales más gruesos y permeables, que determinarán capas porosas que deben evitarse. Por el contrario, si por exceso de profundidad de la charca la sección de paso de aguas es muy grande y escasísima la velocidad resultante, se provocará la sedimentación de material excesivamente tenue, ocasionando los

sivamente pequeños, la eliminación del agua tarda muchos meses, quizá años, en efectuarse. De modo que las tierras, en lugar de formar una masa consistente, queda semifluida, constituyendo en el interior de la presa una enorme burbuja, sujeta a deformaciones, según esté el embalse vacío o lleno, y ocasionando presiones laterales como materia fluida de densidad mucho mayor que la del agua; y esta cir-

que después se ha usado en otras presas construídas posteriormente. Este aparato sirve para medir la presión de las tierras. Consiste en una caja circular metálica, cerrada, de paredes ligeramente móviles, al interior de la cual se le puede inyectar aire comprimido. Esta caja queda colocada entre las tierras del núcleo, horizontal o verticalmente, según se desee conocer la presión vertical u horizontal de aquéllas.

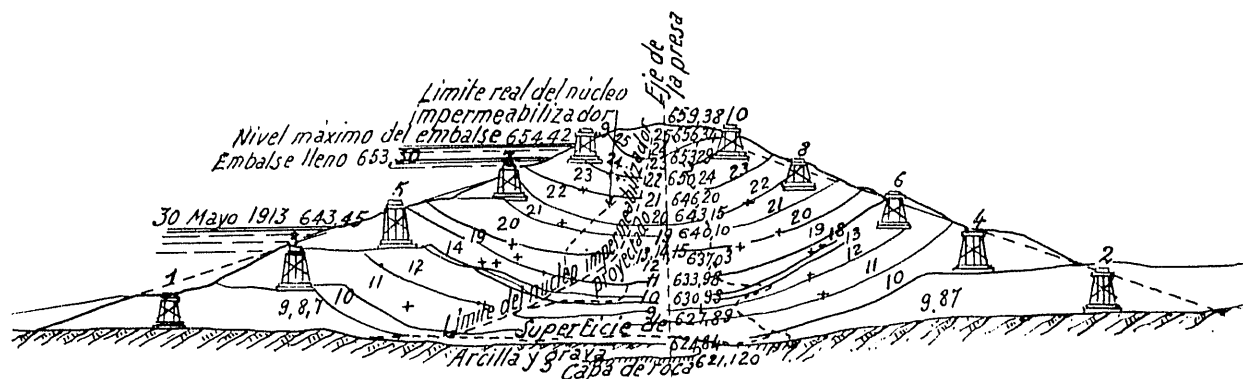


Fig. 4. Presa de Somerset, en Massachussets (E. U.), de 32 m de altura y 634 m de longitud. Los números 9 al 25 indican las semanas desde el comienzo de los trabajos. En la parte central, al lado de la indicación de las semanas, figuran las ordenadas de la superficie de la presa en ejecución. Los capataces se numeran del 1 al 10. La altura de éstos es de 4,60 a 6,10 m

cunstancia determinó corrimientos enormes en algunas presas de este tipo, como los ocurridos en las de Necaxa y Calaveras, que pusieron en descrédito dicho procedimiento.

Estudiadas luego las causas de estas roturas, especialmente por A. Hazen (*Transactions of American Society of Civil Engineers*, 1919-20; *Annales des Ponts et Chaussées*, 1921, enero y febrero; *Giornale del Genio Civile*, 1922), se ha podido comprobar que el núcleo de algunas presas formadas por sedimentación hidráulica estaba constituido, en gran parte, por partículas arcillosas de 1 a 3 milésimas de milímetro, y que el material más grueso de dicho núcleo alcanzaba apenas la dimensión de 30 milésimas de milímetro, dimensiones inferiores a las de las más finas arenas. Si se aplican a estos materiales las leyes de las aguas filtrantes, se precisarían muchos años para que las que empapan dichas partículas encontraran salida. Las partículas del núcleo, al sedimentarse, tienen una proporción de huecos rellenos de agua de un 70 por 100 de su volumen total, y con ella la consistencia es fluida. Para conseguir, con la eliminación de esta fluidez, la compacidad conveniente, ha de reducirse la proporción del agua a menos del 35 por 100.

Como la causa de la lentísima eliminación del agua es la extraordinaria sutileza de las partículas terrosas, el remedio está en que el procedimiento hidráulico no permita depositarse las excesivamente tenues, y el límite práctico mínimo admitido es el de 10 milésimas de milímetro. Las más pequeñas deben ser eliminadas por los aliviaderos o a través de los diques, y la velocidad mínima del agua en la charca no debe permitir la sedimentación de dichas partículas menores.

Deben extraerse muestras del núcleo ya formado para ir comprobando la sutileza de las partículas y la cantidad de agua aglomerada en ellas.

Para comprobar la marcha de la fluidez del núcleo en las cinco presas construídas en el valle del Miami para defensa de inundaciones, se inició el empleo de un aparato ideado por Goldbeck (fig. 5.ª),

Con esta presión las tapas de la caja se deforman, y cuando se quiera medir se inyecta aire comprimido, y al igualarse la presión interior con la exterior, es decir, cuando las tapas adquieren la forma correspondiente al aire libre, reinando dentro de la caja también la presión atmosférica, se produce un contacto eléctrico que se aprecia al exterior, en virtud de la conducción eléctrica a través del tubo a propósito, y la presión de las tierras será igual a la del aire comprimido inyectado.

Las observaciones con este aparato indican que cuando la masa del núcleo es fluida hay igualdad de presiones en los dos planos, vertical y horizontal. Sucesivamente, al consolidarse aquél, va disminuyendo la presión sobre el vertical, quedando al fin sólo vigente la del plano horizontal, debida a la gravedad.

Este rudimentario aparato da sólo indicaciones que no pueden tener absoluta garantía.

Un procedimiento para conseguir la estabilidad de las presas hechas con sedimentación hidráulica, aun en los casos de excesiva fluidez del núcleo, consiste en dar dimensiones suficientes a los diques o zócalos de escollera que junto a los paramentos limitan la charca central durante la ejecución de la presa para que, teniendo en cuenta el coeficiente de rozamiento de ellos, que no debe suponerse mayor del 0,50, den garantía de estabilidad contra la presión horizontal de la masa fluida.

De no emplearse dichos diques de escollera, pue-

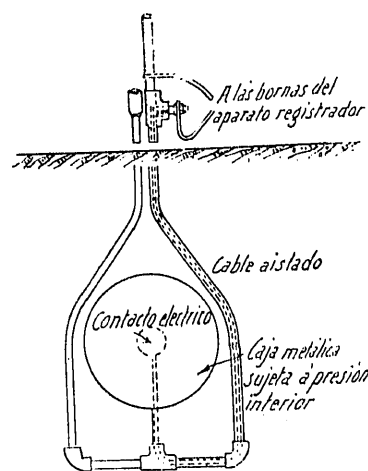


Fig. 5.ª Aparato Goldbeck para medir la presión en el interior de las presas de tierra

den contribuir a contrarrestar la presión horizontal de la masa flúida los revestimientos de piedra de los paramentos, que tendrán tanto mayor eficacia cuanto mayores espesores tengan, más suave talud aquéllos y mayor densidad el material.

Como consecuencia de la fluidez del núcleo central y de su empuje horizontal se determinaron roturas importantes en algunas presas, y entre aquéllas citaremos las ocurridas en las de Necaxa (1909), Calaveras (1918) y Alexander (26 de marzo de 1930).

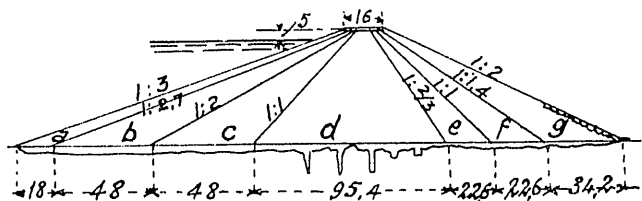


Fig. 6.ª Presa de Necaxa. a, bloques gruesos ajustados a mano; b, f, escollera y terraplenado hidráulico poroso; c, e, grava y arcilla; terraplenado hidráulico semiporoso; d, arcilla impermeable depositada hidráulicamente; g, bloques gruesos a escollera perdida; en el paramento, colocados a mano

La presa de Necaxa se encuentra sobre el río del mismo nombre (Méjico). Tiene 55 metros de altura y 366 metros de longitud. Se ejecutó por el procedimiento semi-hidráulico, con arreglo al perfil de la figura 6.ª. La presa cubica 1 600 000 metros cúbicos de material pétreo y térreo. En 1909, estando el embalse vacío, es decir, no teniendo como elemento estabilizador el prisma de agua que insiste, a embalse lleno, sobre el paramento de aguas arriba, deslizaron en dicha dirección 550 000 metros cúbicos de

se terminó la elevación hasta los 66 metros, quedando dispuesta una posterior adición, hasta conseguir la altura de 73 metros, que fué la proyectada.

El volumen actual de la presa es de 2 650 000 metros cúbicos, y el agua embalsada de 144 millones de metros cúbicos. La reconstrucción de la presa se hizo prescindiendo del procedimiento semi-hidráulico y adoptando para el núcleo el de capas apisonadas.

La presa de Alexander, situada en la isla Kauai (Hawai), figura 8.ª, con fines de riego y producción de energía, se proyectó para 37,50 metros de altura, con un volumen de material de 440 000 metros cúbicos y capacidad de embalse de 2 760 000 metros cúbicos. El procedimiento empleado ha sido el hidráulico. Comenzó su construcción en agosto de 1928. Los materiales utilizados fueron productos volcánicos, de que se componían las laderas inmediatas, cuyo desmenuzamiento dependía del tiempo de agitación y permanencia dentro del agua. Los materiales gruesos y consistentes servían para las partes inmediatas a los paramentos; las cenizas finas, para el núcleo. Precedieron a la construcción análisis físicos y químicos, dirigidos por ingenieros competentes, y determinación del coeficiente del rozamiento de los materiales, formando los espaldones de paramentos.

Se deduce de la figura representativa del análisis del material que aparece en el artículo de *Engineering News Record*, del 22 de mayo de 1930, que el núcleo tenía un 80 por 100 de partículas inferiores a 0,01 milímetros; es decir, no se tuvo en cuenta la norma que estableció Hazen, fiando quizá en la acción estabilizadora de los zócalos.

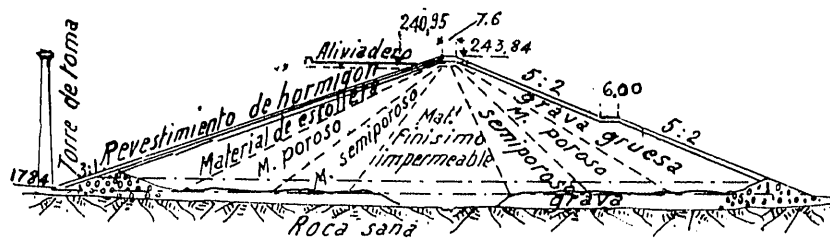


Fig. 7.ª Presa de Calaveras

tierras. Se reparó, disminuyendo el espesor del núcleo y aumentando la escollera de los paramentos.

La presa de Calaveras sirve para embalsar aguas en el río de este nombre, con fines de abastecimiento de San Francisco de California. Empezó a hacerse por el procedimiento semi-hidráulico, con arreglo al perfil de la figura 7.ª, y estando en período de construcción, en 1918, sufrió un deslizamiento de 600 000 metros cúbicos, hacia agua arriba, cuando el volumen colocado era de unos 2 300 000. En 1926

Al alcanzar la presa los 28,50 metros de altura deslizó hacia agua abajo, según la línea que se indica en la figura 8.ª

La causa parece ser la excesiva fluidez del núcleo, agravada por haberse impermeabilizado naturalmente los diques laterales.

Son muy numerosas, como al principio indicamos, las presas construídas en América por el procedimiento hidráulico. A continuación va una lista de algunas de ellas, mayores de 30 metros.

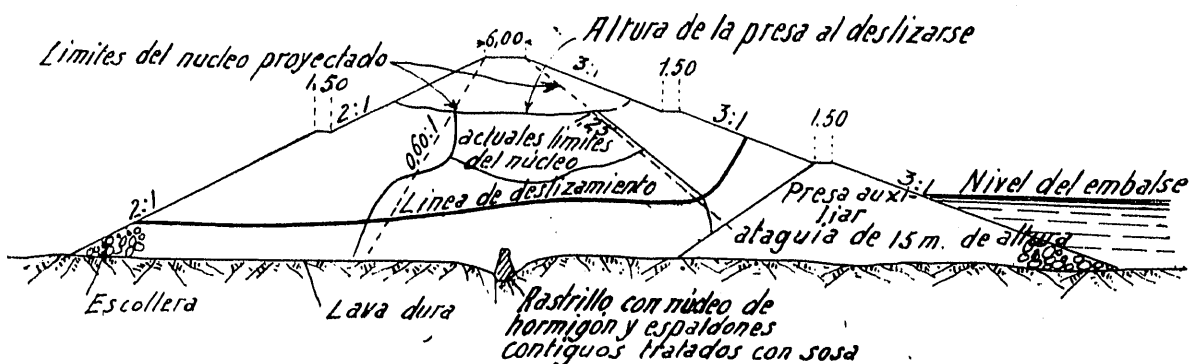


Fig. 8.ª Presa de Alexander, en la isla Kauai (Hawai). Proyectada de 37,50 m de altura, deslizó cuando alcanzaba sólo 28,50 m

Nombre	Situación	Altura máxima
Cobble Mountain....	Massachussets (E. U.)..	74,70
Calaveras.....	California (E. U.) ...	66-73
Saluda.....	Carolina del Sur (E. U.)	63,40
Davis Bridge.....	Vermont (E. U.)	60
Terrace.....	Colorado (E. U.)	54
Liuville.....	N.ª Carolina (E. U.) ..	48
Paddy Creek.....	Idem id.....	48
San Fernando.....	California (E. U.)	44
Patillas.....	Puerto Rico.....	40
Ochaco.....	Oregón (E. U.).....	38
San Leandro.....	California (E. U.)	37
Catawba.....	N.ª Carolina (E. U.) ..	37
Englewood.....	Ohio (E. U.).....	37
Gatun.....	Panamá.....	33,50
Germantown.....	Ohio (E. U.).....	32
Quemahonning.....	Panamá.....	32
Sommerset.....	Massachussets (E. U.)..	31,50
Crane Valley.....	California (E. U.)	30
Wichita.....	Texas (E. U.).....	30
Guernesey.....	Wloming (E. U.)	30
Sherman.....	Massachussets (E. U.)..	30

Entre las presas citadas, la de Gatun, en el Canal de Panamá, aunque su altura es sólo de 33,50 metros, es de notar, porque a sus taludes se les ha dado suavísima inclinación (1 : 3, 1 : 5, 1 : 10 agua arriba y 1 : 5, 1 : 10 agua bajo), resultando un ancho en la base de unos 600 metros. Además, se ha dado mucho espesor a las escolleras de paramentos.

La presa de Tieton (E. U.) tiene una parte central hecha con relleno hidráulico. No está en la relación anterior porque aunque es de tierra, tiene un muro interior de hormigón. La presa alcanza 69 metros de altura. Y el muro, hasta la base de apoyo, 101 metros.

En otro artículo me ocuparé especialmente de las presas Cobble Mountain y Saluda.

José Luis GÓMEZ NAVARRO

Ingeniero de Caminos, profesor de la Escuela

La formación de la barra en el puerto de San Esteban de Pravia

En los puertos de ría la formación de la barra puede obedecer a dos causas sucesivas o simultáneas, que son:

1.ª La corriente litoral general produce el arrastre de las arenas siguiendo la línea de la costa, y al llegar a la desembocadura de los ríos se provoca una sedimentación de los arrastres, constituyendo la barra.

2.ª Cuando los ríos tienen un régimen torrencial y su caudal es abundante en elementos sólidos, éstos se depositan en la desembocadura, bien porque las aguas del mar admiten menos elementos sólidos en suspensión, o bien porque al perder velocidad las aguas fluviales por el choque con las marítimas, da lugar a la sedimentación de los acarreo, bien por las dos causas simultáneamente. Fácil es convencerse de que las aguas del mar admiten menos elementos sólidos en suspensión con el sencillo ensayo de laboratorio siguiente:

Se toman en dos recipientes distintos un litro de agua dulce; a uno de ellos se le agregan las cantidades necesarias de sales para tener una composición análoga a la del agua del mar; a cada uno se le agrega la misma proporción de arcilla pulverizada; se agitan los dos durante el mismo tiempo, y si se anota el invertido en la sedimentación, se observará cómo es mucho más rápida en el recipiente que contiene el agua salada.

A pesar de que lo anterior es, en general, el origen de la formación de las barras en los puertos, la de San Esteban de Pravia no obedece a ninguna de las causas citadas, siendo muy interesantes las que motivan la formación.

Por una circunstancia muy particular hemos podido convencernos de que la barra de este puerto no es de origen fluvial y es la de que el río Nalón, por atravesar la cuenca minera, lleva en sus arrastres

una dosis muy elevada de carbón que permite reconocer los sedimentos por él provocados. Al efecto, tomamos una muestra del fondo del río en las inmediaciones del Puente de Forcinas, al que ya no llega la influencia de la marea; otra en la parte más embancada de la barra, y una tercera en la Playa de los Quebrantos; sometiendo estas tres muestras a un análisis químico, obtuvimos el resultado que se indica a continuación:

COMPONENTES	Playa de los Quebrantos	Barra	Río Nalón en Forcinas
Densidad.....	2,66	2,66	2,16
Contiene, después de seca, en 100 partes:			
Sílice (SiO ₂).....	93	93,50	58
Carbón.....	1,22	1,06	23,60
Oxido férrico (Fe ₂ O ₃).....	2,14	1,28	3,40
Alúmina (Al ₂ O ₃).....	3	3,44	11,40
Carbonato de Calcio (CO ₃ Ca).....	0,55	0,72	1,68
Oxido magnésico (MgO).....	—	—	1,79
Pérdida.....	0,09	—	0,13
TOTALES.....	100	100	100

De la comparación de estos análisis se deduce que la arena que forma la barra es la misma que la de la Playa de los Quebrantos, quedando, por lo tanto, descartada la idea de que pudiera ser de origen fluvial, sin que deje lugar a dudas su origen marítimo.

Es, sin embargo, particular que el análisis acuse una proporción mayor de carbón en la playa que en la barra; pero, aunque parezca a primera vista