

Presas de Hoover

Sobre el río Colorado (Estados Unidos)¹

II

Por lo que en el primer artículo se ha indicado, se podrán comprender las enormes dificultades que se están venciendo y hay que vencer en la construcción de la presa de Hoover, dependientes: 1.º, de la importancia de los tonelajes que hay que manejar; 2.º, de la zona desértica en que está instalada la obra y de

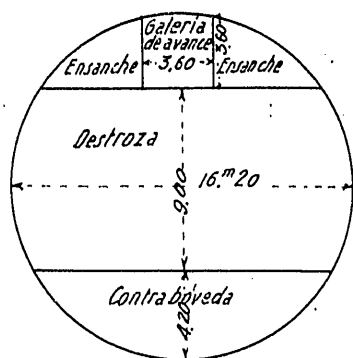


Fig. 1

la relativa inaccesibilidad de ella; 3.º, de las temperaturas extremas (en 1931 variaron éstas desde 12º a 136º Farenheit, equivalentes a -24º y +57º centígrados); 4.º, del corto período de construcción.

Para cumplir el riguroso programa de construcción que fijaba el Pliego de condiciones ha sido preciso el empleo de grandes medios auxiliares, de mucha mayor importancia que los usados en las más importantes obras hasta ahora construidas. Trataremos de dar una ligera indicación de algunos de ellos.

Perforación de los túneles de desviación del río.— Ya indicamos que dichos túneles eran cuatro, de sección circular; de 1 200 m de longitud cada uno y diámetro de 16,80 m sin revestir, y de 15 m revestidos. El plazo de ejecución desde que, en 1 de abril de 1931, se adjudicó la obra, era de treinta meses. Debieron terminarse en 1 de octubre de 1933; pero la entidad constructora ha organizado los trabajos de modo tan excelente, que ha ganado un año en el plazo de terminación de los túneles, ya que en noviembre de 1932 empezó a desviarse el río por ellos, lo que ha adelantado igual tiempo en todo el resto de las obras. Así, la presa, que debía quedar terminada en 1 de agosto de 1937, con el tiempo ganado se podrá terminar en 1 de abril de 1936.

Hay que pensar: en la importancia del material removido, que antes del desmonte representa aproximadamente 1 100 000 m³, y después de fragmentada la roca sería de más de 1 500 000 m³; en la interferencia de las diversas operaciones a realizar: galería de avance, destroza, revestimiento, todo ello coincidente con la extracción de la roca. Hay que tener en cuenta que los escombros había que depositarlos, no vertiéndolos simplemente en el río, sino buscando algún ensanchamiento adecuado para una parte de

ellos, y el resto subílos a lo alto del cañón, a la meseta superior, unos 240 a 300 metros por encima de los túneles. No era fácil conseguir dominarla con poco coste utilizando un camino de hierro, por la limitación de las pendientes y las curvas, y por ello se emplearon pistas de fuertes pendientes, hasta del 12 por 100, y curvas cerradas, para camiones. Estos, con capacidad de 9 a 11 m³, pesando, cargados, de 20 a 32 tn, empleando un total de 160, de los que 70 eran sólo de 5 tn.

Se empezaron los túneles abriendo primero galerías laterales de ataque, que los cortaban cerca del punto medio de su trazado, llevando los elementos auxiliares con barcas por el río, y siendo estos elementos, al principio, provisionales, hasta tanto que llegó la energía eléctrica. Después, ya se pudieron montar tres instalaciones completas de aire comprimido y palas eléctricas y locomotoras a lo largo de estas galerías laterales. Todo ello movido eléctricamente.

Los túneles generales se perforaron abriendo primero a lo largo de cada uno de ellos, y en su total recorrido, una galería de avance de 3,60 × 3,60 m, situada en la parte alta. Esta perforación se hacía mediante un carretón que llevaba cuatro martillos neumáticos montados en dos columnas. La perforación de la galería de avance permitió conocer la calidad de la roca, que fué excelente, y facilitar la ventilación en la destroza.

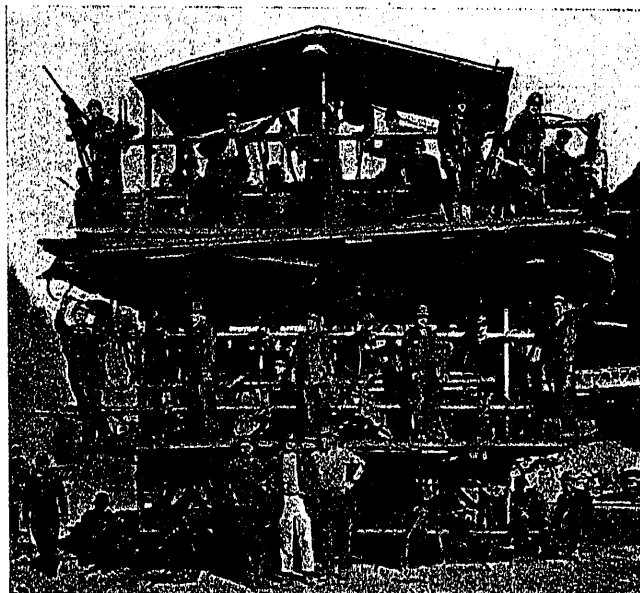


Fig. 2. Estructura de sostén de 30 martillos perforadores

La destroza y las destrocetas se llevaron a cabo luego a la vez, excepto en un segmento inferior (*Invert*), que comprendía 4,20 m de altura desde la parte más baja de la sección circular.

La figura 1 indica la división del área del túnel en las diversas partes.

La perforación de las destrozas, por estudio de la situación de los barrenos y carga de éstos, dada la

¹ Véase el número anterior, página 132.

compacidad de la roca, se conseguía hacerla con paramentos casi verticales en el frente, y obteniendo fragmentos de roca manejables con la pala. La roca estaba libre de fallas. No fué necesario entibar. Y el trabajo se realizó en seco, excepto unos escasos mantiales, que se dominaron con facilidad.

Cada destroceta requería 15 barrenos.

El ataque de la destroza o zona central se conseguía por 110 barrenos, que se efectuaban desde unas plataformas montadas sobre una estructura metálica que sostenía un camión de 5 tn. Esta estructura llevaba 5 barras horizontales, cada una de ellas con 6 martillos; en total, 30. La figura 2 representa la estructura indicada por el frente de los martillos, y la figura 3, por el lado contrario, colocado el camión en posición para maniobrar aquéllos. La estructura cubría medio frente de la destroza, de modo que en dos posiciones de aquélla se hacían los 110 agujeros. Requería una brigada de 45 hombres. Una vez hechos los agujeros, se separaba el camión con la estructura y se llevaba al túnel adyacente. En cada vo-

un solo frente, con 21 brigadas (tres por día), de 74 metros en 14 ciclos, o sea un avance medio por ciclo de 5,30 m. La excavación en esta semana fué de metros cúbicos 12 700.

La entrada de los camiones en el túnel, con sus ga-

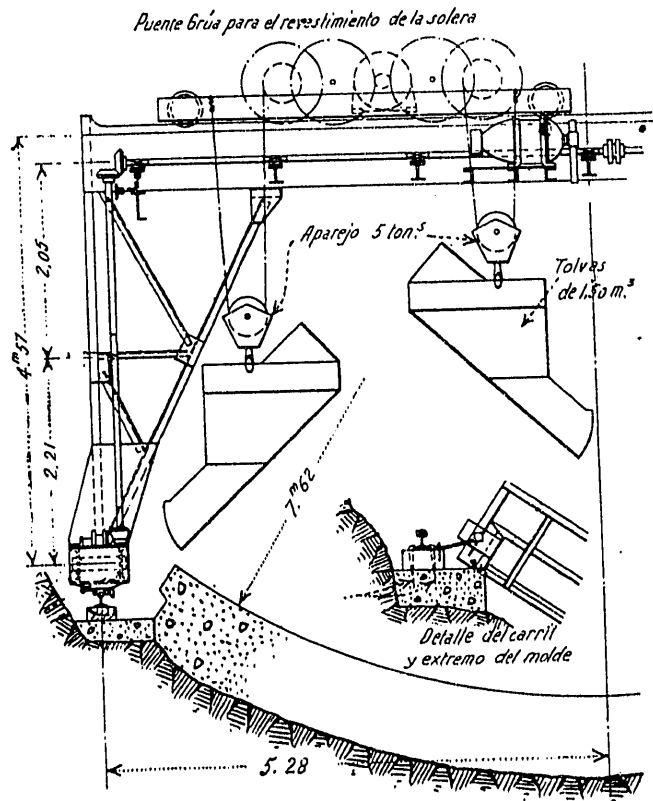


Fig. 4.

ses de escape, hacía necesario disponer con cuidado la ventilación. Esta fué excelente, en gran parte por la corriente natural de aire que proporcionaba la galería de avance, por el aire de los martillos, y a esto se añadió la colocación de inyectores de aire en la

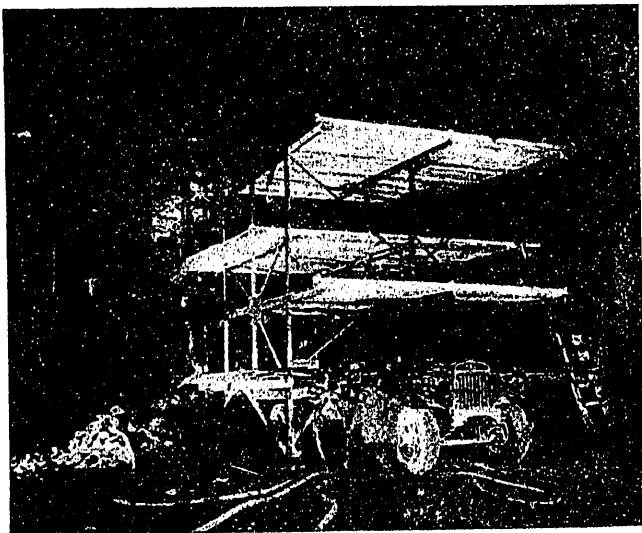


Fig. 3. Estructura sostén de 30 martillos aplicada sobre el frente de ataque

ladura se gastaban unos 900 kg de explosivos y se removían unos 800 m³, con un avance medio de 4,80 metros. En la época de máxima actividad había cuatro camiones, con 30 barrenos cada uno, trabajando; y la destroza se atacaba por ocho frentes entre todos los túneles.

Palas eléctricas cargaban una fila de camiones, que entraban por un lado del túnel para salir, cargados, por el otro. Las palas, en el momento de la voladura, se retiraban unos 300 m del frente.

La organización de la destroza y destrocetas fué prevista para hacer dos ciclos de voladura en un día.

Tiempos medios de un ciclo completo:

Perforación y voladura.....	3 horas
Limpieza con tractor para permitir el acceso..	1 "
Removido del material volado.....	7 a 9 "
Total del ciclo.....	11 a 13 horas.

En enero de 1932, mes de máxima actividad, se avanzaron 2 020 m en los ocho frentes, removiendo 340 000 m³ de roca. El *record* en una semana (la primera de febrero de 1932) fué el avance en ella, en

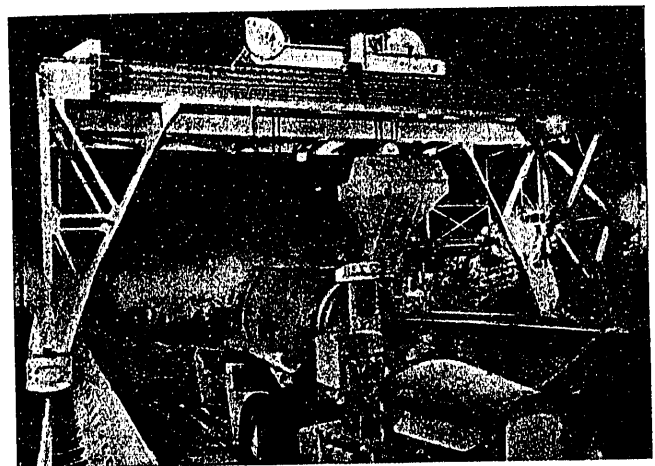


Fig. 5. Vista del puente-grúa y del camión transportador y agitador del hormigón para revestimiento de la solera

intersección de las galerías de ataque laterales con los túneles principales. Además, en puntos estratégicos se colocaron ventiladores. De este modo el aire conservaba condiciones higiénicas.

Después de la perforación en bruto venía el refi-

Para poder llevar a cabo la perforación de los túneles en épocas de riadas, se hicieron delante de las embocaduras ataguías formadas por presas-bóvedas de hormigón, de 12 m de altura sobre la solera del túnel, y elevables sus coronaciones 1,50 m más por alzas.

meros cinco, dos serán de 774 m de luz para los aliviaderos, las cuatro torres de toma y parte de la presa. Otros dos de 414 m de luz, para cubrir la presa y parte de la casa de máquinas, y otro de 409 m de luz, para el resto de la obra.

Además, se construye el cable transportador re-

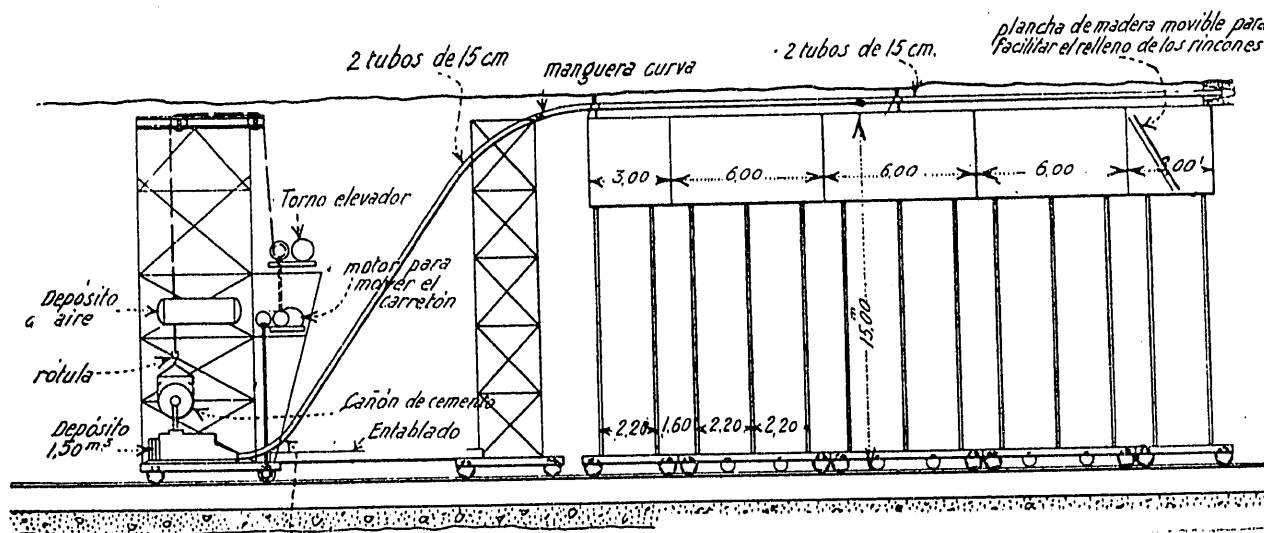


Fig. 7

Terminados completamente los túneles números 3 y 4 (ladera de Nevada), se volaron las ataguías de hormigón y la barrera de roca delante de las embocaduras en 13 de noviembre de 1932, empleando 3 500 barrenos cargados con 15 tn de dinamita. Luego de esta espectacular voladura, desde un puente provisional de servicio agua abajo, se vertieron sobre el río grandes cantidades de roca y tierra, formando una primera ataguía provisional que elevaba el nivel de las aguas, desviándolas por los túneles de Arizona; y al abrigo de aquélla se han empezado a construir las ataguías definitivas, a las que nos referimos ligeramente en el primer artículo. La figura 8 representa el momento en que el agua empieza a entrar en el túnel 4.

Material árido.—La arena se toma a 18 km aguas arriba de la ubicación de la presa, en la margen de Arizona, de excavaciones en terrenos propiedad del Estado. Y como el terreno está expuesto a inundaciones en riada y se cubrirá con el embalse, la entidad constructora tiene silos de arena fuera de la zona inundable, para no interrumpir los trabajos. Se estudiaron varias soluciones para el transporte de la arena: ferrocarril, teleférico, etc., prefiriéndose el ferrocarril con tracción de vapor con preferencia a la eléctrica. De los 32 000 000 de toneladas que hay que transportar en las obras de la presa, corresponden al árido 27 000 000 de toneladas. Y para esto se construyeron 43 km de ferrocarril, con almacenes y apartaderos, con una pendiente máxima de 1,75 por 100. Costó 1 000 000 de dólares. El ferrocarril cruza el río con un puente de palizadas de madera de 300 m de longitud. Se prefirió esta solución como más económica, aun con el riesgo de que el río inunde y arrastre el puente.

La instalación para el árido es capaz de 500 tn por hora.

Cables.—Para el servicio de la obra habrá cinco cables transportadores, de 20 tn. Además, existen ya otros dos, uno de 12 y otro de 35 tn. De los pri-

cord, por cuenta del Estado, capaz para ciento cincuenta toneladas, con el fin de poder transportar los tubos a la entrada de las galerías laterales, donde se hará cargo de ellos la entidad contratista. También en este cable se va a salvar un escalón enorme en capacidad de transporte. Son corrientes los cables de unas 10 tn en la construcción de las presas. Algunos han llegado a 20. Este alcanzará la enorme cifra de 150 tn. El vano que salvará tiene 360 m de luz. La distancia en vertical entre carga y descarga, 180 m. Se conseguirán velocidades de 1,20 m por segundo en el transporte, o sean 72 m por minuto; 36 m por minuto en elevación y descenso con cargas inferiores a 50 toneladas, y 9 m por minuto con cargas de 50 a 150 toneladas.

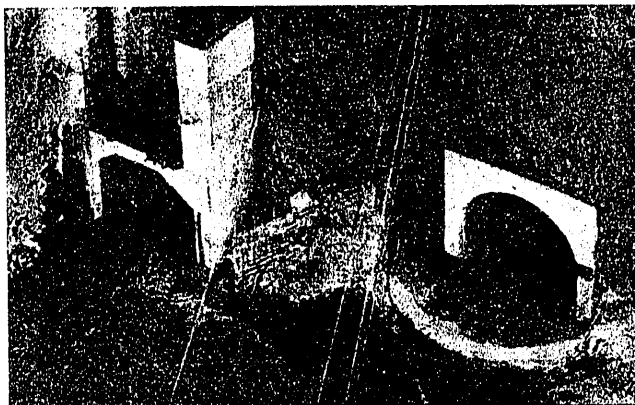


Fig. 8. Embocaduras de los túneles 3 y 4 (ladera de Arizona), en el momento de comenzar la desviación de las aguas por el túnel 4.

Detalles de las tuberías.—Y esta potencia es precisa para el transporte de los tubos. Dijimos en el primer artículo que de las cuatro torres de toma partirán otras tantas tuberías de 9 m de diámetro. Estas tuberías y las ramificaciones de menor diámetro han sido objeto de una contrata especial, adjudicada a la

Casa Babcock Wilcox Co., de Barbestón (Ohio), en 10 908 000 dólares. Las tuberías de 9 m de diámetro tendrán espesores comprendidos entre 44 y 72 mm. Se fabricarán las tuberías de más de 3,90 m de diámetro junto a la presa. Las planchas las transportará el Estado hasta la fábrica, y asimismo desde ella hasta la entrada de los túneles. De aquí la necesidad del cable.

La tubería será soldada por medio de aparatos automáticos que en su proceso excluyan el contacto del aire con el metal mientras éste se halle en fusión. Cada capa de metal depositado debe martillearse, y cada tubo probarse, exigiéndose un grado de eficiencia del 100 por 100. La longitud completa de la tubería debe inspeccionarse con los rayos X, y esto se aplica lo mismo a la tubería hecha junto a la presa que a la procedente del taller general de la Sociedad contratista.

Los tubos, antes de ser colocados en obra, deben ser limpiados de óxido por medio de proyección de arena por aire comprimido, aplicándose luego una mano de alquitrán en el taller y otra en obra.

Se emplearán planchas de 3,60 × 10,50 m (el máximo tamaño con los equipos hoy existentes) para los tubos de 9 m de diámetro. Cada virola tendrá 3,60 metros de longitud. Cada plancha, de 72 mm de espesor, pesará unas 25 tn. Un vagón sólo transportará dos planchas. Con dos virolas de 3,60 m se formará un tubo de 7,20 m, que, con bridas y refuerzos, pesará cerca de 140 tn.

El peso completo de la tubería será de 55 000 tn.

El proyecto de las tuberías fué uno de los más arduos problemas. Teniendo en cuenta el golpe de ariete, la conducción forzada puede quedar expuesta a una presión de 21 atmósferas. Con la máxima carga de las cuatro tuberías, estando en pleno servicio las máquinas de la central y abiertas las válvulas de aguja, cada tubo llevará 900 m³/s. Este caso no tiene precedentes.

Un examen de los esfuerzos de tensión a que la roca estaría expuesta, en caso de no colocar superficie metálica suficientemente resistente para soportar toda la presión interior, hace temer que hubiera fracturas de aquélla, fugas de agua y subpresiones peligrosas en la presa y roca. Y esto hizo pensar que si al revestimiento de los túneles de 15 m de diámetro se les dotare de suficiente parte metálica para ayudar a la roca y evitar dichos males, con el peso de dicho metal se podría construir una tubería de menos diámetro, 9 m, que por sí sola resistiese a la presión interior. Y así se decidió.

Ensayos en modelos reducidos.—Un aspecto muy interesante que presenta la laboriosa resolución de los importantes problemas que se han presentado en el proyecto de la presa y aprovechamiento del agua embalsada es el de los múltiples ensayos que se han hecho con modelos reducidos, que han permitido introducir una economía global de 1 500 000 dólares respecto a la cifra del proyecto primitivo.

Estos ensayos se han hecho corrientemente a diversas escalas para una misma construcción.

Ensayo de aliviaderos.—Los aliviaderos tienen una

enorme importancia, y han sido una de las construcciones ensayadas. Hay que tener en cuenta que proyectándose para un caudal total de unos 11 000 metros cúbicos por segundo, y siendo el desnivel entre agua arriba y agua abajo de la presa de unos 170 m, la potencia teórica que representa dicha masa de agua cayendo desde dicha altura se acerca a los 25 millones de caballos, con velocidad final de agua de unos 52 metros por segundo.

El tipo elegido es el de aliviaderos con canal lateral, coronado con cuatro compuertas de sector, de 30 × 4,80 m. En ellos el agua vuelca sobre la coronación, cambia de dirección 90° al pie de ellos y sigue paralelamente a aquélla, entrando en un pozo inclinado de 15 m de diámetro, que se injerta en el túnel interior de cada ladera. Los ensayos en modelos demostraron que los métodos analíticos basados en las leyes de hidráulica no tienen, hasta ahora, la perfección suficiente para fiar a ellos el cálculo de un aliviadero de la magnitud de los de la presa de Hoover. Sólo los modelos son los que dan normas adecuadas. Por ellos será posible conseguir una economía de 500 000 dólares en su construcción.

Ensayos de erosión en los desagües.—Como el agua alcanzará en los túneles velocidades hasta más de 50 metros, se han hecho pruebas para deducir si el hormigón las soportará, sometiendo bloques de dosificación diversa, con superficies diferentes, durante treinta y cuatro días, al choque de un chorro de agua de 25 mm de diámetro, que incidía en las superficies del hormigón con ángulos diferentes y velocidades de 30 a 55 m/s, y se probó la posibilidad de que el hormigón las soportase.

Ensayos de las tomas de agua.—Para investigar las condiciones hidráulicas de la salida de las aguas, forma conveniente de la embocadura, pérdidas de carga, formación de vacío, etc., se hizo un ensayo en escala 1 : 64, el que sirvió para mejorar el proyecto y demostró que las grandes aducciones de aire proyectadas no eran necesarias. Este ensayo proporcionará una economía de 140 000 dólares.

Ensayos de pérdida de carga en las tuberías.—A un modelo de torre se acopló otro de las tuberías y ramificaciones, para medir los caudales de paso y las pérdidas de carga. Se construyó, además, un modelo transparente de una ramificación, para observar la marcha de los filetes líquidos.

Ensayos de válvulas de aguja de 1,80 m de diámetro.—Para éstas se construyeron dos modelos: uno a escala de 1 : 106 y otro a 1 : 20, desaguando cada una en la realidad 99 m³/s, con velocidad máxima de 52 m/s.

Las modificaciones hechas como consecuencia de tales ensayos proporcionarán una economía de 30 000 dólares.

Estos son los principales ensayos hechos.

No conocemos aún detalle de la clase de cemento que se ha de emplear y dosificación del hormigón. Sólo sí que éste será plástico, con descenso, en la prueba de consistencia de Slump Test, de 7,50 cm; es decir, casi hormigón seco.