

Las grandes presas del río Colorado^(*)

Por **LUIS BERGA CASAFONT**

Director de la Junta d'Aigües de Catalunya
Catedrático de Hidráulica e Hidrología de la Escuela Técnica Superior
de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos de Barcelona

La regulación del río Colorado, en Estados Unidos, constituye uno de los proyectos de ingeniería más importantes del presente siglo. A su descripción y análisis se dedica el siguiente artículo.

1. INTRODUCCION

Del 13 al 17 de junio de 1988 tuvo lugar en San Francisco el XVI Congreso Internacional de Grandes Presas, bajo el patrocinio de la Comisión Internacional de Grandes Presas.

Durante estos días se presentaron numerosas ponencias y comunicaciones sobre las cuestiones elegidas para debatir en profundidad, que de acuerdo con el estado del arte de la construcción de presas y de la problemática que pueden representar los grandes embalses fueron las siguientes (1):

Q-60. Embalses y medio ambiente. Experiencias de gestión y de medida del impacto.

Q-61. Presas de materiales sueltos: elementos de impermeabilización que no sean núcleos de arcilla.

Q-62. Progresos recientes en la construcción de presas de hormigón.

Q-63. Avenidas de proyecto y laminación de avenidas durante la explotación de las presas.

La presencia española en el Congreso fue muy numerosa. Hubo cualificadas aportaciones a las diversas cuestiones, tal como puede observarse en el Informe General del Comité Nacional Español de Grandes Presas (2). Pero además de una puesta al día de la técnica en el campo de las presas, el Congreso ha representado también para muchos de nosotros un conocimiento más próximo de las presas de Estados Unidos, así como de la organización federal y estatal de la gestión de los recursos hidráulicos. Por ello,

he creído que podía ser de interés el divulgar en un artículo las características del río Colorado y las principales obras que para su regulación se han realizado. En este artículo se describen las presas del río Colorado, haciendo hincapié en las más importantes, y se refieren los esquemas de los aprovechamientos y de distribución de sus recursos hidráulicos.

2. EL RIO COLORADO

El río Colorado nace en las proximidades del «Gran Lake» en las Montañas Rocosas, al norte de Denver (Colorado) (Fig. 1). De allí desciende rápidamente hacia el suroeste, con pendientes superiores al 2 por 1.000, y cruza el inmenso «plateau» del Colorado que se extiende al sur de Utah y al noroeste de Arizona. Después se dirige hacia el sur y desemboca en el golfo de California, en México. Su longitud es de 2.334 km. y drena una superficie de 622.000 km.² de los Estados de Wyoming, Colorado, Utah, Nevada, New Mexico, Arizona y California. Sus afluentes principales son por su margen derecha el Green River y por su margen izquierda los ríos Gunnison, San Juan, Little Colorado y Gila. Su aportación media es de 18.500 hm.³/año, lo que significa un caudal medio de 586,6 m.³/seg. y un caudal específico aproximado de 0,001 m.³/seg. km.²

El río Colorado fue descubierto en el año 1539 por el español Francisco de Ulloa, que al mando de tres navíos navegando por el Golfo de California llegó hasta su desembocadura el día de San Andrés, por lo que le dio el nombre de río de San Andrés. Un año después Hernando de Alarcón remonta el río con sus barcos hasta aguas arriba de la

(*) Se admiten comentarios sobre el presente artículo que podrán remitirse a la Redacción de esta Revista hasta el 30 de junio de 1990.

LAS GRANDES PRESAS DEL RIO COLORADO

desembocadura del río Gila y le da el nombre de el «río de la Buena Guía» (3,4). Pero no es hasta el año 1598 en el que Juan de Oñate, Gobernador español de la provincia de Nuevo México, lo nombra río Colorado debido al color rojizo de sus aguas. Desde

entonces ha tenido numerosos nombres (Red River, Gran Colorado, The Grand, etc.), pero hay que esperar al año 1921 cuando el Congresista Edward Taylor, durante las discusiones del reparto de las aportaciones, consigue que el nombre oficial sea de nuevo

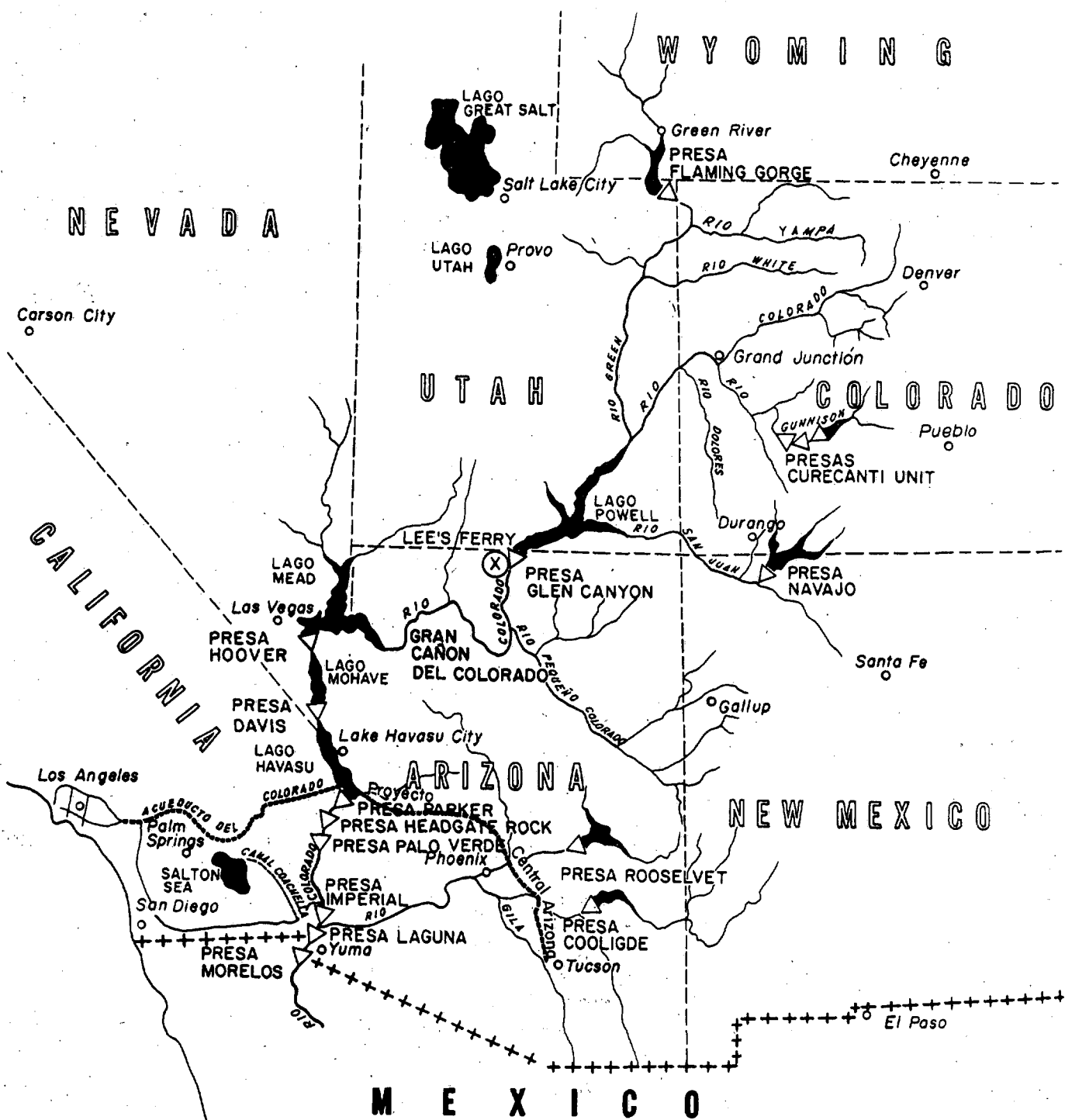


Fig. 1. Cuenca del río Colorado.

el de río Colorado (3). Curiosamente, después de la construcción de las grandes presas en su tramo superior e inferior se han reducido considerablemente las aportaciones sólidas y las aguas del río presentan unas tonalidades mucho más claras en la mayor parte del año. Anteriormente los aportes medios eran de unos 200 millones de toneladas al año.

Los períodos de crecidas del río se presentan normalmente entre los meses de abril a junio y antes de su regulación producían abundantes daños, principalmente en su tramo inferior que discurre a lo largo de la frontera entre California y Arizona (5). Así, en 1905, el río rompió las defensas de su margen derecha y cambió su curso dirigiéndose hacia el «Imperial Valley», al sur

de California, arrasando todas las viviendas y campos que encontró a su paso y abriendo un nuevo cauce que desembocaba en el Salton Sea, que aumentó en unos 1.200 km.² su superficie. Se tardó más de un año en lograr que el río volviera a su cauce. También fueron importantes las inundaciones del año 1913 en el valle de Yuma y las del año 1922 en el valle de Palo Verde. En la estación de aforos que el «U.S. Geological Survey» tiene en el Gran Cañón del Colorado la máxima avenida registrada tuvo lugar el 2 de julio de 1927 con un caudal de 3.600 m.³/seg., aunque aguas arriba los estudios históricos muestran que en el año 1884 se produjo una avenida con un caudal máximo de unos 8.500 m.³/seg.

Tal como hemos señalado, el río Colorado



Foto 1. Cañón de «Marble Gorge», aguas abajo de la presa de «Glen Canyon». En la actualidad forma parte del Parque Nacional del Cañón del Colorado.

en su curso medio atraviesa el «Colorado Plateau», formado por un conjunto de planicies (Coconino, Kaibab, Kanab, Marble, Hualapai, etc.), y ha dado lugar a más de 19 cañones, en los que el río ha cortado profundas gargantas, como es la «Marble Gorge» (foto 1), situada aguas abajo de la presa Glen Canyon. Todas estas gargantas son posibles ubicaciones de presas, y evidentemente es en algunas de ellas donde se han construido las grandes presas del río Colorado. De entre las gargantas de este tramo del río cabe destacar por su grandiosidad y belleza la del Gran Cañón del Río Colorado:

3. EL GRAN CAÑÓN DEL RIO COLORADO

El Gran Cañón del río Colorado ocupa un lugar prominente entre las siete maravillas naturales del mundo. El río discurre en las profundidades del cañón a lo largo de 443 km., y la fuerza de sus aguas, junto con la acción de la lluvia y de la temperatura, han erosionado las rocas con estratificación ho-

rizontal produciendo una serie de cañones transversales al profundo cañón del río principal (foto 2). El ancho medio del cañón es de unos 60 km., variando entre un mínimo de 30 y un máximo de 180 km. Su profundidad máxima es de 1,6 km., con alturas en los bordes superiores a los 2.600 m., y a lo largo de su perfil se presentan importantes variaciones climáticas que sirven de medio a la implantación de numerosas y diversas especies vegetales y animales, constituyendo uno de los hábitats más característicos y representativos del mundo (6, 7). También en las paredes rocosas se pueden observar los procesos geológicos producidos en los «plateau» del Colorado desde hace más de 2.000 millones de años, y es aquí donde el libro geológico se expresa con gran transparencia desde los esquistos de la época precámbrica en el fondo del cañón, hasta las areniscas del final del pérmico en sus bordes más altos (8, 9, 10) (foto 3). Además de su impresionante belleza, espectacularidad y significación biológica y geológica, el Gran Cañón del Colorado ha constituido un hito muy singular en la historia de los descubrimientos y conquistas de la humanidad.



Foto 2. Gran Cañón del Colorado. Vista desde el «South Rim».



Foto 3. Gran Cañón del Colorado, con el río Colorado en el fondo del cañón.

Durante el período prehistórico las laderas del cañón estuvieron habitadas por los paleo-indios y posteriormente por los indios Anasazi, Cerbat, Paiute, Navajos y otros. Pero no es hasta el año 1540 en el que el español García López de Cárdenas, formando parte de un destacamento de la expedición de Coronado, descubre el Gran Cañón del Colorado, probablemente desde su margen sur, entre las zonas denominadas «Desert View» y «Moran Point». Desde entonces fueron recorriendo el lugar algunos misioneros y expediciones españolas, pero durante más de 300 años el río Colorado a su paso a través del Gran Cañón fue una zona desconocida y misteriosa, sin descripción de su red hidrográfica; era un espacio en blanco en los mapas de Norteamérica. Así, después de algunas exploraciones realizadas localmente por cazadores y por el Gobierno de los Es-

tados Unidos, hay que esperar hasta el año 1869 en el que el Mayor John Wesley Powell lleva a cabo la primera expedición documentada que recorre completamente el tramo del río que discurre por el Cañón del Colorado (11, 12). La expedición la componían nueve hombres y cuatro botes, y salió el 24 de mayo del pueblo de «Green River». Después descendió este río y llegó al río Colorado, atravesando el «Marble Canyon» y el Gran Cañón del Colorado, para llegar a las proximidades del actual lago Mead, después de 95 días y de la desaparición de tres miembros de la expedición.

Una de las características del río Colorado en su discurrir a través del Gran Cañón es la presencia de numerosos rápidos que hacen que la navegación con botes presente grandes dificultades, principalmente con caudales bajos (13). La pendiente media del

río en los casi 450 km. es de 1,6 por 1.000, pero en los 70 rápidos, que representan una longitud de sólo el 9 por 100, se produce casi el 50 por 100 de pérdida de cota. La mayor parte de estos rápidos se han producido por las aportaciones al cauce principal de los arrastres de los cañones laterales que reducen la sección y modifican el lecho del río, pero algunos son debidos a antiguas coladas de lavas volcánicas que llearon a obstruir el paso de las aguas, creando en algún caso represas muy espectaculares, como pudo ser la del rápido de «Lava Falls», en el que se especula que hubo una montaña de lava de unos 420 metros de altura que creó un lago con una longitud de más de 200 km. de largo. En todos estos rápidos, debido a la disminución de la sección hidráulica del cauce y a las fuertes pendientes locales, se producen velocidades de flujo muy elevadas, de hasta 8 m./seg.

Después de las expediciones de Powell empezaron a surgir los primeros movimientos para la preservación del cañón y tras diversos intentos el Congreso de los Estados Unidos estableció el Parque Nacional del Gran Cañón en el año 1919. Posteriormente, en 1975, el Presidente Gerald Ford amplió la zona del parque nacional hasta los límites actuales, que comprenden unos 5.000 km.²

4. LAS GRANDES PRESAS DEL RIO COLORADO

Al final del siglo pasado empezaron a construirse los primeros aprovechamientos hidráulicos del río Colorado y de sus afluentes, principalmente para irrigación de tierras. Entre ellos cabe mencionar los realizados por los mormones en el Green River, los riegos del valle de Palo Verde, los del valle de Yuma y los del «Imperial Valley», en California. Pero en 1910 el «Bureau of Reclamation» sólo había construido la presa de Theodore Roosevelt en Arizona, y la derivación de Laguna en la frontera entre California y Arizona, sin que supusieran una efectiva regulación y control de los importantes recursos que aportaba anualmente el río Colorado. Ello era debido a las disputas que durante décadas mantenían los siete Estados tributarios del

río. Sin embargo, después de las avenidas catastróficas ya mencionadas de los años 1905-1906 y de 1913, los Estados implicados llegaron a un acuerdo para el reparto de las aportaciones del río, que se plasmó en el «Colorado River Compact» de 1922, y que constituyó la pieza clave para el inicio de las grandes obras de regulación del río. Así, posteriormente fueron surgiendo legislaciones específicas en el Congreso que dieron lugar a la construcción de las grandes presas del río Colorado, que en la actualidad constituyen las infraestructuras básicas para su regulación.

En la Figura 1 y en la Tabla 1 se muestran las principales presas del río Colorado, y se dan sus características más importantes. Cabe señalar que el volumen total de embalse es superior a los 81.000 hm.³, lo que, frente a la aportación anual media, da una idea del alto grado de regulación a que están sujetos los caudales fluyentes (volumen de embalse/aportación media anual = 4.4).

Entre estas presas cabe destacar por su altura y volumen de embalse la presa de Hoover y la presa de Glen Canyon, que constituyen las piezas fundamentales para el control y la regulación del río Colorado.

La presa de Hoover tiene sus antecedentes en la «Boulder Canyon Project Act» que fue promulgada en el año 1928, seis años después del acuerdo general entre los siete Estados para el reparto de los recursos del río Colorado (14). Está localizada en el «Black Canyon» o «Boulder Canyon» (foto 4), entre Nevada y Arizona, y se empezó a construir en el año 1931, terminándose las obras en el año 1936 (15, 16). Es del tipo arco-gravedad, tiene una altura sobre cimientos de 221 m., y en su tiempo fue la mayor presa del mundo (foto 5). La cimentación de la presa tiene una base de 201 m., y el ancho de la coronación es de 14 m., con una longitud de 378 m. El volumen de hormigón de la presa es de unos 3,3 millones de metros cúbicos y la capacidad del embalse es de 34.852 hm.³, casi el doble de la aportación media anual del río. La presa sirve para usos múltiples como son la regulación del río para los diversos consumos aguas abajo (riegos, abastecimientos urbanos e industriales), el

LAS GRANDES PRESAS DEL RIO COLORADO

TABLA 1. GRANDES PRESAS DEL RIO COLORADO

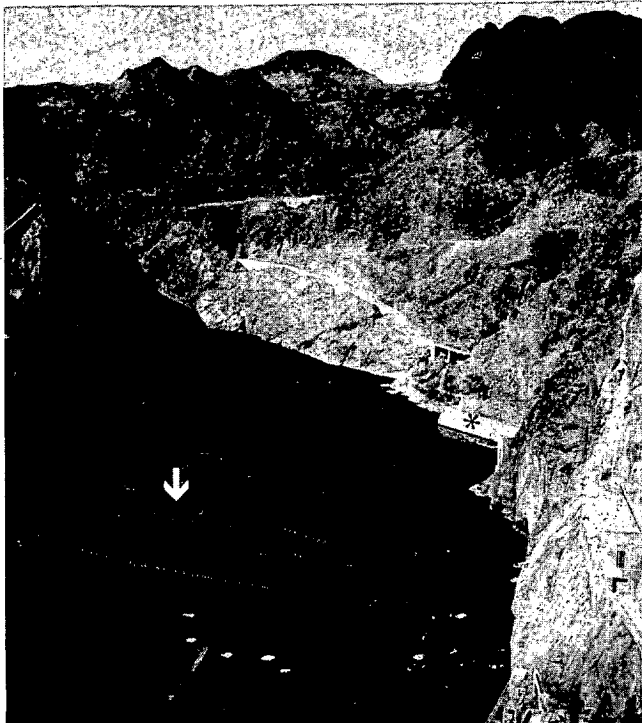
nombre (año)	río	tipo	altura (m)	volumen presa (=10 ³ m ³)	volumen embalse (=10 ⁶ m ³)	capacidad aliviadero (m ³ /seg.)	tipo de aliviadero	usos
Flaming Gorge (1964)	Green	VA	153	755	4.673	821	V	H,C,S,R
Blue Mesa (1966)	Gunnison	TE/ER	119	2.355	1.160	954	V	H,C,R
Morrow Point (1968)	Gunnison	VA	143	279	144	1.161	V	H,C,R
Crystal (1977)	Gunnison	VA	98	112	32	1.212	L	I,H
Navajo (1963)	San Juan	TE	123	20.521	2.108	963	L	I,R
Glen Canyon (1966)	Colorado	VA	216	3.747	33.304	7.815	V	H,S,C,R
Hoover (1936)	Colorado	VA	221	3.364	34.852	11.327	V	I,H,C,S,R
Davis (1950)	Colorado	TE/ER	61	2.785	2.243	6.060	V	H,I,S,C
Coolidge (1929)	Gila	MV	77	154	1.172	3.398	V	I,H
Roosevelt (1911)	Salt	VA	85	272	170	4.248	V	H,I,S,R
Parker (1938)	Colorado	VA	98	291	799	11.327	V	H,I,S,R

VA: Arco-gravedad
 MV: Bóvedas múltiples
 TE: Tierra
 ER: Escollera

L: Aliviadero de lámina libre
 V: Aliviadero con compuertas

I: Riegos
 H: Hidroeléctrico
 C: Laminación de avenidas

S: Abastecimientos urbanos e industriales
 R: Usos recreativos



control de las avenidas, y la producción de energía eléctrica. Para ello dispone de una central con 16 turbinas, con una potencia instalada de 1.344,8 Mw., que dan una producción anual media de unos 4.000 Gwh./año.

Para la evacuación de los caudales de avenida, dispone de dos aliviaderos con vertedero lateral en canal y posterior desagüe en túnel, uno en cada margen del embalse, y con una capacidad total de 11.327 m³/seg., el doble del caudal máximo registrado en el «Black Canyon». La longitud del aliviadero es de 215 m., y tiene cuatro compuertas de 30 m. de longitud por 4,8 m. de altura (foto 6). Estos aliviaderos fueron

Foto 4. «Boulder Canyon.» Aguas abajo de la presa Hoover. Se observa la central (flecha larga), la salida de los desagües intermedios (flecha corta), y la salida del túnel del aliviadero de superficie (arterisco).

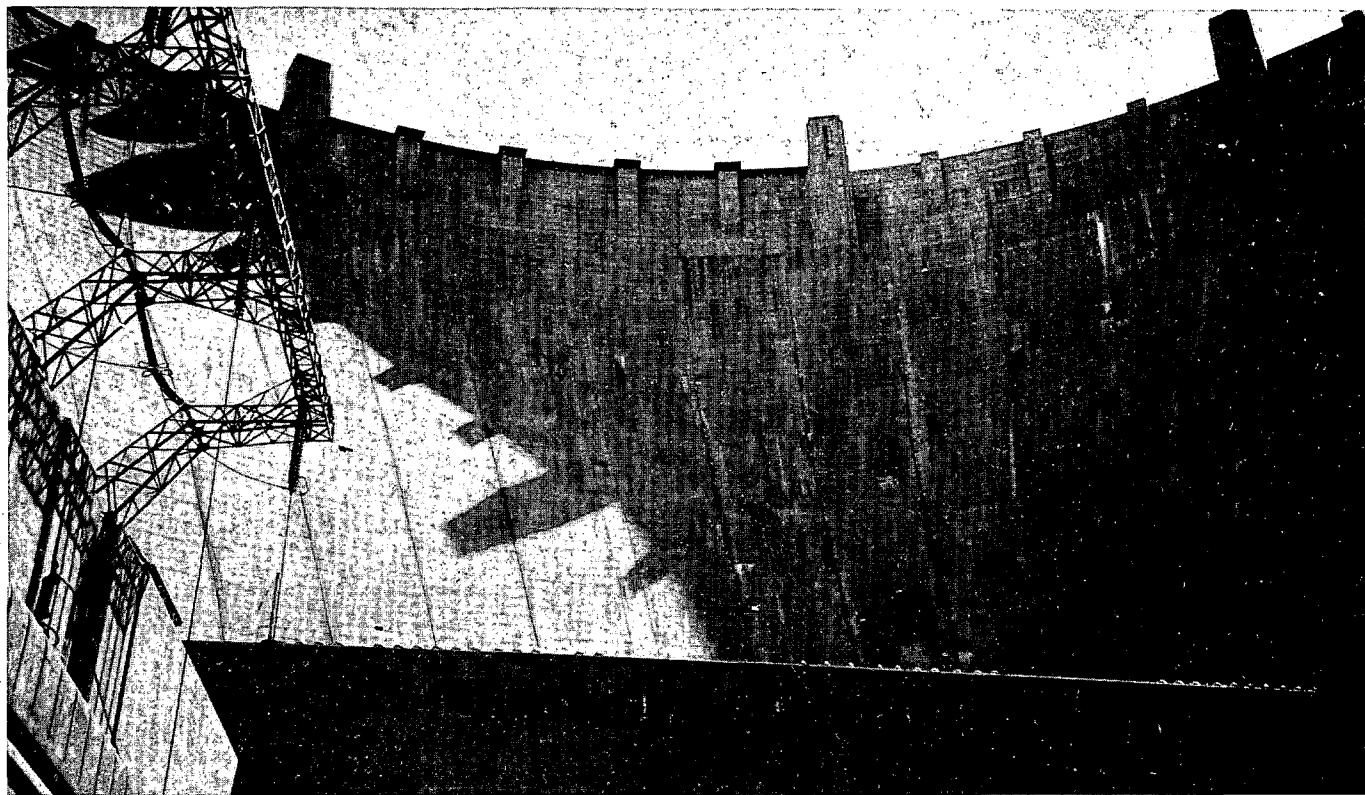


Foto 5. Presa Hoover. Paramento aguas abajo.



Foto 6. Presa Hoover. Aliviadero con vertedero lateral de la margen de Nevada.

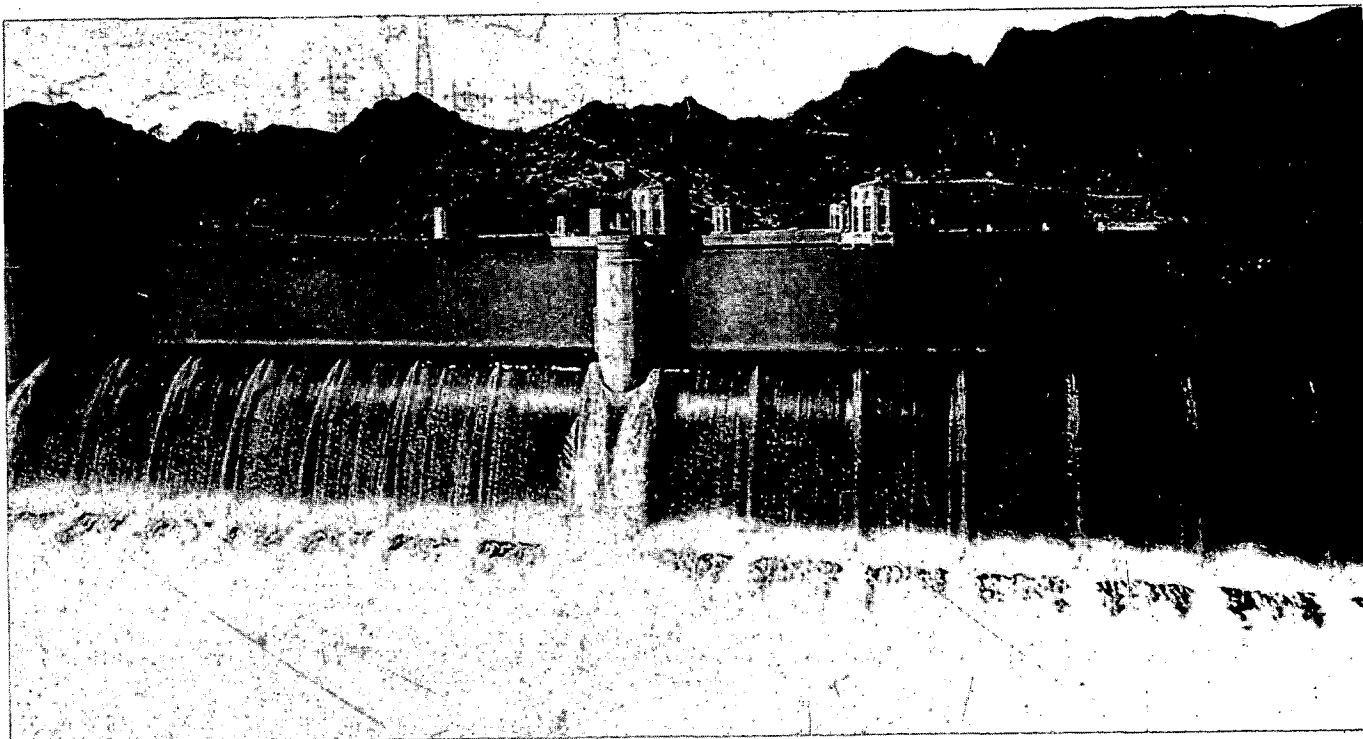


Foto 7. Presa Hoover. Primer vertido completo en el verano de 1983.



Foto 8. Presa Hoover. Visita turística a las galerías de la presa.

probados en el año 1941, y no vertieron hasta la avenida del verano de 1983 (foto 7), lo que da una idea clara de la importancia que ha tenido el embalse en la retención de las avenidas.

El embalse creado por la presa Hoover tiene una superficie de unas 64.000 ha. y una longitud de 177 km. con una costa de 1.320 km. Es el mayor lago artificial de Estados Unidos, y recibe el nombre de «Lake Mead», constituyendo una «National Recreation Area», que recibe al año más de 10 millones de visitantes (17). En él se practican toda clase de deportes náuticos, y es una importante área de pesca deportiva y de reserva de la naturaleza. Además el «Bureau of Reclamation» tiene organizadas para los turistas que visitan la zona visitas técnicas a la presa, con recorridos a través de sus galerías (foto 8) y a la central hidroeléctrica, que sin duda contribuyen de manera muy significativa a que sus ciudadanos conozcan la importancia de este tipo de obras y comprendan su necesidad para un mejor aprovechamiento de los recursos hidráulicos.

La presa de «Glen Canyon» constituye la

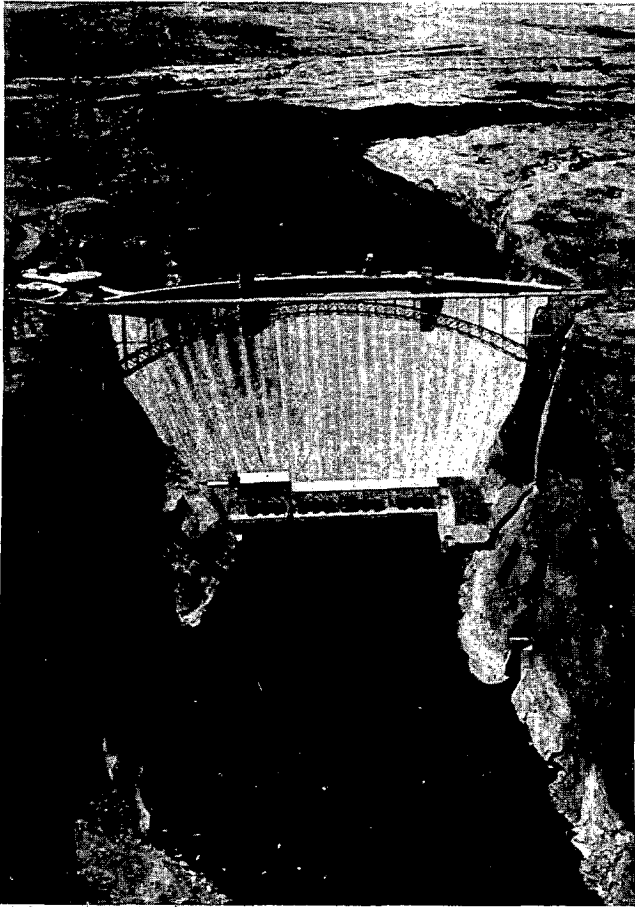


Foto 9. Vista aérea del «Glen Canyon» con la presa y el puente colgante de acero.

llave fundamental para la total regulación del curso alto del río Colorado, ya que sirve para las demandas del «Colorado River Storage Project» y además permite el cumplimiento de los compromisos de la «Colorado River Compact» de 1922. Está localizada en el cañón del mismo nombre (foto 9) y su construcción comenzó en el año 1956, terminándose las obras en el año 1966 (18, 19, 20). Es del tipo arco-gravedad y tiene una altura de 216 m. (foto 10). La cimentación de la presa tiene una base de 90 m. y el ancho de coronación es de 7,5 m., con una longitud de 476 m. El volumen de hormigón es de unos 3,7 millones de metros cúbicos, y la capacidad del embalse es de 33.304 km.³ La central hidroeléctrica consta de ocho turbinas con una potencia instalada de 1.320 Mw., y una producción media anual de unos 4.200 Gwh. Para la evacuación de los caudales de avenida dispone de dos ali-

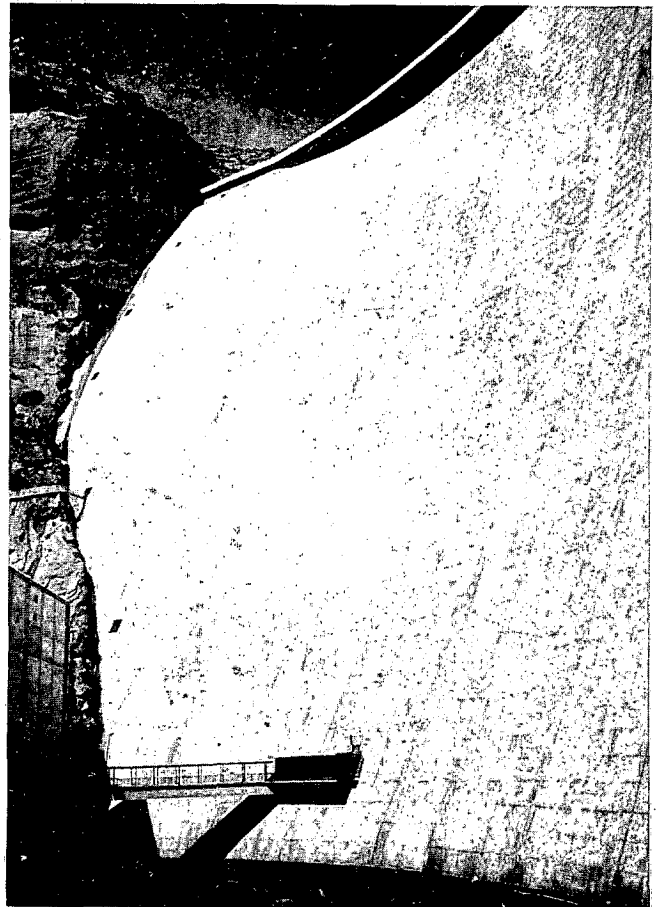


Foto 10. Presa «Glen Canyon». Paramento aguas abajo, con el «Golf Course» adyacente a la central hidroeléctrica.

viaderos en túnel de hormigón, perforado a través de la roca de los márgenes, con una capacidad total de 7.815 m.³/seg. La entrada de cada aliviadero está controlada por dos compuertas radiales de 12 X 15,75 m.

Durante la primavera y el verano de 1983 se produjo una importante avenida en la cuenca superior del río Colorado debido a la fusión rápida de la nieve y a unas lluvias muy intensas, con caudales punta de unos 3.200 m.³/seg. Ello obligó a poner en servicio los dos aliviaderos laterales que estuvieron desaguando, desde el 2 de junio al 23 de julio, en alguna ocasión caudales superiores a los 900 m.³/seg. Finalizado el vertido se observaron en los dos aliviaderos importantes daños en el hormigón del revestimiento del túnel debido a la cavitación y a la erosión. El más dañado fue el de la margen izquierda, donde había desaparecido

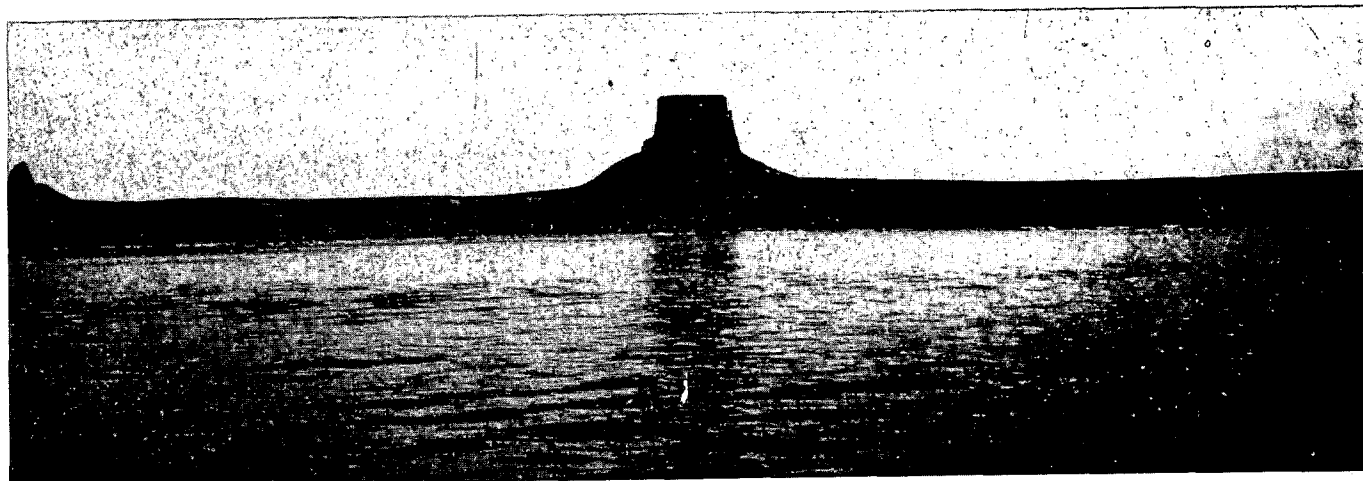


Foto 11. Orillas del lago Powell en la parte de Arizona.

por completo el revestimiento en algunos tramos y se había producido un agujero en la roca de 41 m. de largo, 15 de ancho y más de 10 de profundidad. Los trabajos de reparación consistieron en la reposición del hormigón del revestimiento y en la construcción de aireadores en la parte superior del túnel para evitar la cavitación.

El embalse creado por la presa Glen Canyon tiene una superficie superior a las 63.000 ha. y una longitud de 298 km., con una costa de más de 3.000 km. Recibe el nombre de «Lake Powell» en honor del primer descubridor americano que cruzó el Gran Cañón del Colorado (foto 11). Al igual que el lago Mead, es un importante centro turístico de esta zona del este de los Estados Unidos. En una de sus orillas, a 80 km. de

la cerrada, se encuentra el monumento nacional «Rainbow Bridge», que es un maravilloso puente natural de piedra de 84 m. de luz y 88 de altura, y que constituye el puente de este tipo mayor en el mundo (foto 12).

La construcción de la presa Glen Canyon ha supuesto el impacto humano más importante en el Gran Cañón del Colorado, ya que ha alterado el régimen de los caudales, ha producido la eliminación del aporte de sedimentos, y ha disminuido la temperatura del agua circulante. Así, han desaparecido las avenidas naturales del río en primavera y los caudales están totalmente regulados, existiendo solamente la variación diaria debida a la producción hidroeléctrica, con valores comprendidos entre los 30 m.³/seg. y los 900 m.³/seg. Ello ha dado lugar a un cambio en la vegetación de los márgenes de los ríos, ya que antes las avenidas impedían su crecimiento, y ahora una gran variedad de plantas han invadido dichas márgenes, lo que ha introducido en esta zona nuevos insectos, anfibios, reptiles, pájaros y mamíferos, cambiando su ecosistema. Por otro lado, la circulación de aguas más claras, sin aporte de sedimentos, ha producido el crecimiento de numerosas especies de algas que han desencadenado un nuevo hábitat fluvial. También se han notado los efectos de la variación de la temperatura del agua, que antes oscilaba entre los 0 y los 30°C., y en la actualidad está alrededor de los 10°C., con lo que se han extinguido cuatro especies nativas de peces, pero han proliferado nue-



Foto 12. «Rainbow Bridge.» En las proximidades del lago Powell, en Utah.

vas clases de carpas y truchas. Como combinación de todos estos efectos se ha desarrollado un nuevo sistema ecológico en las profundidades del Cañón del Colorado, sin que pueda postularse que globalmente el cambio haya sido perjudicial o beneficioso (10). Sin embargo, el «Bureau of Reclamation» está realizando nuevos estudios para intentar rectificar los efectos negativos producidos, adaptando, en la medida de lo posible, los esquemas operacionales de la presa de Glen Canyon.

Además de las grandes presas anteriormente mencionadas los estudios iniciales para la regulación del río Colorado proponían la construcción de otras tres presas: la de «Echo Parks» en el «Green River» y las del «Marble Canyon» y «Bridge Canyon» aguas abajo de la «Glen Canyon» en el río Colorado. La primera fase ya descartada inicialmente por su afición al «Dinosaur National Monument», pero las otras dos, a pesar de su gran afición al Gran Cañón, siguieron con sus estudios y anteproyectos hasta que en 1966, después de finalizadas las obras de la presa «Glen Canyon» se pensó en iniciar su construcción. Pero en el mes de junio de 1966, el Sierra Club de San Francisco inició una campaña pública de oposición contra estas presas con su gran afición al Gran Cañón, que dio como resultado que el Congreso de los Estados Unidos aprobara una ley que disponía que ningún estudio o construcción de presas pudiera realizarse en la zona del Gran Cañón sin la aprobación del propio Congreso. Finalmente la cuestión se zanjó con la modificación ya citada del Parque Nacional del Gran Cañón, firmada por el Presidente G. Ford en 1975, que ampliaba la zona del Parque Nacional, y consecuentemente suponía la prohibición de la construcción de estas presas (13).

5. LA ASIGNACION DE LOS CAUDALES DEL RIO COLORADO

No quisiera terminar este artículo descriptivo de las grandes presas del río Colorado sin hacer mención al desarrollo histórico y a la aplicación de los criterios básicos que han servido durante muchos años para

la asignación y reparto de los caudales entre los siete Estados que forman su cuenca. Como ya se ha referido, durante las primeras décadas de este siglo, el consumo más importante de los caudales fluyentes del río lo realizaba el Estado de California, principalmente para los riegos de los valles Imperial y Coachella, pero también para el abastecimiento de algunas ciudades del sur de California. Al aumentar estas demandas se planteó la necesidad de regular los caudales con la construcción de una presa de gran capacidad de embalse (presa de Hoover). De esta forma, y siguiendo la simple doctrina de que la adquisición de los derechos del agua es para los primeros que la usan, «The Appropriation Doctrina» que regulaba los aprovechamientos hidráulicos en la mayor parte de los Estados del este (21), el agua pertenecería a California. Esto habría supuesto un importante monopolio del agua del río Colorado por parte de este Estado, que habría afectado profundamente a las perspectivas de desarrollo que ya existían en el resto de Estados que configuraban su cuenca. Además hay que tener en cuenta que California y Nevada prácticamente no contribuyen a la aportación del río, ya que la mayor parte de los caudales son generados en Colorado (50 por 100), Wyoming y Utah (35 por 100) y Arizona y New Mexico. Así, es fácil comprender que cuando se planteó en el Congreso la iniciativa de California se vio que era necesario adoptar un punto de vista más general de toda la cuenca y que el reparto de los caudales debía de venir después de una discusión entre todos los Estados afectados.

Para ello, durante once meses del año 1922 se reunieron las delegaciones de los siete Estados en Santa Fe (New Mexico), bajo la presidencia del entonces Secretario de Comercio Herbert Hoover. Según se refieren en las crónicas de la época, después de largas y tensas discusiones se llegó a un acuerdo que se conoce como la «Colorado River Compact» (22, 23).

En ella se divide la cuenca del río Colorado en dos subcuencas: la Superior y la Inferior; estando situado el punto de división en Lees Ferry, una localidad situada aguas abajo de

la presa «Glén Canyon» (fig. 1). La cuenca Superior se refiere, pues, a las partes de Colorado, Wyoming, Utah, New Mexico y Arizona, que drenan hacia el río Colorado aguas arriba de Lees Ferry, y la cuenca Inferior incluye las partes de Arizona, Nevada, California, New México y Utah, que drenan hacia el río Colorado aguas abajo de Lees Ferry, aunque como puede observarse en la figura 1, la mayor parte de la cuenca Superior corresponde a los Estados de Colorado, Wyoming, Utah y New Mexico, y la cuenca Inferior a los de Nevada, California y Arizona.

Entre los objetivos principales del convenio estaban los de encontrar un reparto equitativo para el uso de las aguas del río Colorado, establecer prioridades para los diferentes consumos, promover las relaciones entre los diferentes Estados y fomentar el desarrollo industrial y agrícola de la cuenca del río Colorado, regulando sus aguas y protegiendo las vidas y propiedades frente a las avenidas (22).

El pacto fijó, según los datos hidrológicos disponibles en aquellos años, que suponían una aportación media de 21.586 hm.³/año, el siguiente reparto de volúmenes anuales:

- Cuenca Superior	9.251 hm. ³ /año
- Cuenca Inferior (1)	9.251 hm. ³ /año
- Suplemento para el Estado de Arizona en la cuenca Inferior	1.234 hm. ³ /año
- Aportaciones del río a la nación mexicana (ratificado en Tratado del Agua USA-México, de 1944)	1.850 hm. ³ /año
TOTAL	21.586 hm.³/año

(1) Esta asignación a la cuenca Inferior corresponde a los caudales que debe liberar la cuenca Superior a la Inferior y es un valor medio del fijado en el acuerdo que literalmente dice: «92.510 hm.³ para cualquier período de 10 años consecutivos».

En base a estos pactos se iniciaron las grandes presas de regulación del río y los consumos efectivos de caudales, aunque la realización de las obras de aprovechamiento y la distribución de recursos estuvo rodeada

de grandes debates y polémicas entre los diferentes Estados, debido fundamentalmente a la insuficiencia de caudales. En realidad se ha visto que la aportación media del río no es de 21.586 hm.³/año, sino sólo de 18.500 hm.³/año, existiendo un déficit importante respecto a lo previsto, lo que ha supuesto una verdadera batalla cada vez que cada Estado quería ampliar sus regadíos o realizar nuevas obras de derivación para consumos urbanos o industriales. Estas polémicas se acentuaron en el año 1956, en el que el «Colorado River Storage Project» autorizó la construcción de la presa Glen Canyon. Ello dio lugar a que en 1968 se promulgase la «Colorado River Basin Project Act» en la que en base a los acuerdos del año 1922 se autorizaba al Secretario del Interior a coordinar con los representantes de los siete Estados los criterios de explotación y operación de los grandes embalses de almacenamiento del río Colorado, a fin de satisfacer las peticiones y demandas de los Estados de la cuenca (24).

Así pues, cabe concluir que el simple convenio del año 1922 con el reparto global de caudales ha servido para llevar adelante las grandes presas de regulación del río, y, aunque con muchos problemas y polémicas, ha sido la base para el desarrollo de las importantes obras de infraestructura hidráulica que llevan el agua del río Colorado a las tierras, ciudades e industrias de los siete Estados.

BIBLIOGRAFIA

1. INTERNATIONAL COMMISSION ON LARGE DAMS. Transactions of the Sixteenth Congress on Large Dams. San Francisco. 1988.
2. COMITE NACIONAL ESPAÑOL DE GRANDES PRESAS. ALONSO FRANCO, M., BERGA, L., BRAVO, G., CASAMAYOR, L., FERNANDEZ P., FORA, J., GAZTAÑAGA, J. M., GUITART, J. L., HERRERO, E. Informe general al XVI Congreso Internacional de Grandes Presas de S. Francisco. Revista de Obras Públicas. Número extraordinario. Abril-mayo. 291-444. 1988.
3. COOLEY, B. The Colorado River. Crescent Books. New York. 1986.
4. WATKINS, T. H. The Grand Colorado: The story of a River and its canyons. American West Publishing Compay. Palo Alto. 1969.

LAS GRANDES PRESAS DEL RIO COLORADO

5. COOLEY, M., ALDRIDGE, G., EULER, R. Effects of the catastrophic flood of december 1966. USGS. Professional paper 980. Washington. 1970.
6. BEAL, M. Grand Canyon. The story behind the scenery. Kc. Publications Inc. Las Vegas. 1987.
7. HOFFMAN, J. F. Grand Canyon: Visual. Western Recreational Publications. San Diego. 1987.
8. BREED, W. J., ROAT, E. Geology of the Grand Canyon. Museum of Northern Arizona and Grand Canyon Natural History Association. Flagstaff. Arizona. 1976.
9. CHRONIC, H. Pages of stone. Vol. 4: Grand Canyon and the plateau country. The Mountaineers. Seattle. 1984.
10. ANNERINO, J. Hiking the Grand Canyon. Sierra Club books. San Francisco. 1986.
11. POWELL, J. W. Exploration of the Colorado River and its tributaries. Government Printing Office. Washington. 1875.
12. POWELL, J. W. The exploration of the Colorado River and its Canyons. Dower Publications Inc. New York. 1961.
13. CRUMBO, K. A river runner's guide to the history of the Grand Canyon. Johnson Books. Boulder Colorado. 1985.
14. BUREAU OF RECLAMATION. U.S. DEPARTMENT OF INTERIOR. Hoover Dam Arizona-Nevada. U.S. Government Printing Office. Washington. 1986.
15. BUREAU OF RECLAMATION. U.S. DEPARTMENT OF INTERIOR. Construction of Hoover Dam. Kc. Publications Inc. Las Vegas. 1976.
16. SKERRET, R. G. et al. The story of the Hoover Dam. Nevada Publications. Las Vegas. 1979.
17. CASTALDO, G. Hoover Dam and Lake Mead. Western Supply. Las Vegas. 1986.
18. JONES, S. Glen Canyon Dam, and Steel-arch bridge. Sun country Publ. Page. Arizona. 1984.
19. BUREAU OF RECLAMATION. U.S. DEPARTMENT OF THE INTERIOR. Glen Canyon Dam and Powerplant. Self-Guided Tour. U.S. Government Printing Office. Washington. 1984.
20. BUREAU OF RECLAMATION. U.S. DEPARTMENT OF THE INTERIOR. Glen Canyon Dam. U.S. Government Printing Office. Washington. 1986.
21. RICE, L., WHITE, M. D. Engineering aspects of Water Law. John Wiley. New York. 1987.
22. RADOSEVICH, G. E., NOBE, K. C., ALLARDICE, D., KIRKWOOD, C. Evolution and Administration of Colorado Water Law: 1876-1976. Water Resources Publications. Littleton. 1976.
23. REISNER, M. Cadillac desert. The American West and its disappearing water. Penguin Books. New York. 1986.
24. COLORADO RIVER WATER USERS ASSOCIATION. Living with a water giant: The Colorado River. Coachella. California. 1988.

L. Berga

Doctor Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. Catedrático del Area de Ingeniería Hidráulica de la Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos. Director de la junta d'Aligües de Catalunya. Generalitat de Catalunya.
