

Diseño y construcción de la presa de Bernárdez, Guadalupe, Zacatecas

168 |

La importancia de las obras hidráulicas arquitectónicas radica en que, desde la antigüedad, han sido el medio de canalizar y aprovisionar el agua, líquido vital para la existencia humana en su calidad de ser biológico, así como fundamental para el desarrollo socioeconómico de los diversos grupos, pues además de su obligada manipulación en la agricultura, el agua, con su movimiento ocasionado por la fuerza de gravedad, ha sido una de las principales fuentes de energía proporcionadas por el medio ambiente.

Valiéndose de la observación del ciclo hidrológico, de los estudios y avances científicos de diversos contextos históricos y del ingenio, el hombre ha sido capaz de brindar diversas soluciones para el suministro y control del vital líquido, en favor de satisfacer sus necesidades básicas. A la vez, al aprovechar la corriente del agua y convertir la energía cinética en mecánica, valiéndose de convenientes escenarios naturales, logró diversificar su uso en heterogéneos sistemas físicos, los cuales permitieron el impulso y desarrollo de mecanismos coadyuvantes en los procesos productivos, mecanismos que también, en una retroalimentación, han sido impulsores del progreso científico en los diversos contextos históricos.

Entre las obras hidráulicas encargadas del almacenamiento y suministro de agua se encuentran las presas, las cuales son barreras artificiales construidas para aprovechar las características topográficas, hidrográficas y climáticas de un lugar para embalsar el agua de una corriente. La afluencia del líquido podía ser controlada mediante aliviaderos y compuertas para ser usada en diversas actividades como las productivas y sanitarias. Ubicándose en un contexto histórico comprendido entre el siglo XVI hasta principios del XIX, en el actual territorio mexicano las presas eran de gran importancia económica y social, debido al uso constante del agua, tanto para satisfacer las necesi-

* Investigador independiente.

dades biológicas de una población como para desempeñar los procesos productivos de haciendas agrícolas y mineras. Comúnmente en estas últimas destaca el proceso del azogue.

Siguiendo con la misma temporalidad, al pertenecer las presas a un periodo cronológico anterior al uso en las obras civiles del concreto armado, las partes prefabricadas y el cálculo diferencial para su diseño presentan características constructivas y formales que hoy en día nos parecen disímiles, suscitando cuestionamientos acerca de cuáles eran los principios del referido diseño que las hacían funcionales. Es en el talante de desentrañar la historia y características de una obra arquitectónica —que por su antigüedad es considerada monumento histórico— que interviene la llamada delación del monumento como un proceso de análisis formal, histórico, filosófico y funcional, que tiene como objetivo exteriorizar una interpretación de las cualidades intrínsecas del patrimonio construido en favor de su memoria, el respeto y comprensión de una ideología del que es producto, así como el discernimiento de diferentes razonamientos geométricos aplicados a su diseño. Finalmente, al ser divulgada la investigación, la principal aportación es en beneficio de la educación.

Concurriendo al tema seleccionado para la presente investigación, “Diseño y construcción de la presa de Bernárdez, Guadalupe, Zacatecas”, “diseño” proviene del italiano *disegno* y se refiere a trazar o delinear, por lo que al hilarle con la palabra construcción se discierne la intención de elaborar un esquema que sirva a la edificación de una obra, acometiendo tanto a su viable realización física como a que satisfaga las necesidades que le concibieron. A lo anterior, que se contempló sólo desde el punto de vista funcional, se sumaría la creatividad del individuo que le ideó, y a su subjetividad, la influencia cultural de su



Figura 1. Vista norte-sur de la presa de Bernárdez.

propio contexto histórico y social, llevándole entonces a interpretar un estilo.

Por consiguiente, el tipo de estudio a efectuar se esclarece al determinar que el objeto seleccionado es una presa cuyas características principales ya fueron descritas, y que al ubicarse su edificación entre los siglos XVIII y XIX,¹ pertenece a un contexto histórico, siendo por tanto susceptible de un análisis concerniente a la delación del monumento, mismo que está plenamente justificado por su aportación didáctica. La problemática a tratar deviene en precisar qué características posee el diseño de la presa de Bernárdez, que fueron aptas para brindarle una estabilidad constructiva a efecto de llevar a cabo su función durante un largo periodo, de manera que su estructura aún es sólida, no obstante que presenta una imagen deteriorada. Por tanto, será necesario indagar el método geométrico que dio origen al trazo, así como las técnicas constructivas que permitieron su realización física.

¹ Archivo Histórico del Municipio de Guadalupe (MGAH), Exhacienda minera conde de Bernárdez, Propuestas para proyectos de la hacienda de Bernárdez, exp. especial, f. 49, 18 de julio de 2000.

Antecedentes históricos

La presa en estudio se encuentra en la que era conocida como hacienda de Bernárdez, cuyos vestigios se localizan al noroeste del actual municipio de Guadalupe, Zacatecas. Su origen se remonta a 1570, con una merced dada por la Real Audiencia de Guadalajara para que pastaran en ese lugar los animales empleados por los mineros, desarrollándose durante los siguientes 300 años instalaciones hidráulicas de beneficio minero, así como áreas habitacionales y de horticultura, de manera que hasta finales del siglo XVIII tal sitio era conocido con el nombre de San Nicolás de la Cantera, debido a que don Pedro José Bernárdez levantó una barda por el “lado de la minera”, al encontrar una veta rica en la cantera.²

En 1727, José de Urguiola y Echerreudi recibió el título de conde de Santiago de la Laguna, después heredado por el coronel de infantería José de Rivera Bernárdez, de quien la propiedad tomó su nombre para ser conocida como hacienda de Bernárdez.³

El doctor José Francisco Román Gutiérrez llevó a cabo una inspección de las instalaciones de la ahora ex hacienda, entregando en 2000 un escrito al Archivo Histórico del Municipio de Guadalupe;⁴ en dicho escrito propone desarrollar un proyecto de restauración para las instalaciones de la ex hacienda. El texto referido describe que la presa objeto de estudio formaba parte de un sistema hidrológico que comprendía entre sus componentes a la presa de Infante, un acueducto aledaño, así como un sistema de canales para la distribución del agua, edificados por etapas

constructivas durante los siglos XVIII y XIX; tal obra de ingeniería hidráulica presentaba al parecer un uso diferenciado del agua, tanto para las necesidades domésticas como para las labores propias de una hacienda de beneficio, en específico para satisfacer el proceso de obtención de plata beneficiada por mercurio.⁵

Al hacer el levantamiento arquitectónico de la presa, se pudieron corroborar las apreciaciones del doctor Román, pues existieron al menos dos compuertas en la cortina, cada una con su respectivo canal, y además existe un tercer aliviadero que pudo estar directamente conectado a un acueducto, hoy en día difícilmente reconocible debido a las extremas intervenciones restaurativas llevadas a cabo en el sitio durante diferentes etapas, hasta transformarlo actualmente en un “centro platero”. El agua pudo ser utilizada para accionar los molinos, irrigar los huertos, el consumo de animales, entre otras más, pues la antigua hacienda de Bernárdez formaba parte de la arquitectura del Camino Real de Tierra Adentro, causa por la cual presentaba no sólo una gran importancia económica, sino también política y social.⁶

El descubrimiento de plata en Zacatecas propició el establecimiento de un grupo de colonos españoles que quedó prácticamente aislado de otras poblaciones virreinales; después, con el aumento demográfico, sobrevino un incremento en la producción del mineral y la necesidad de la creación de caminos trazados con óptima planeación, de manera que llegara la plata con seguridad a las fundiciones del sur y a las casas reales de contabilidad.⁷ En 1550 ya estaba iniciada la construcción de caminos por tierras no

² MGAH, La hacienda de Bernárdez, Propuestas para proyectos de la hacienda de Bernárdez, exp. especial, foja fechada el 9 de mayo de 2005.

³ *Idem*.

⁴ MGAH, exp. especial, fs. 49-54, 18 de julio de 2000.

⁵ Proceso del azogue.

⁶ MGAH, exp. especial, f. 54, 18 de julio de 2000.

⁷ Philip W. Powell, *La guerra chichimeca*, México, FCE, 1996, p. 32.

pacificadas de grupos chichimecas,⁸ encontrándose entre las rutas más transitadas de la región, conjuntamente a la de México-Zacatecas, la de Guadalajara, Izatlán, Juchipila y Nochistlán, abriéndose después nuevas vías hacia Michoacán, Querétaro y el sur de Guanajuato.⁹ A este conjunto de caminos se le conoció como “los caminos de la plata”, y a la ruta principal México-Zacatecas como el Camino Real de la Plata.

Actualmente permanecen dos proyectos del gobierno del estado de Zacatecas: Presa de Bernárdez y Sistema Hidráulico Bernárdez, los cuales datan de 2000 y tienen como propuesta la creación de un parque en el lugar.¹⁰

Diseño de la presa

Lo primero que hay que esclarecer antes de comenzar este análisis, es el tipo de presa que agrupa al inmueble en estudio, el cual entra en el género de las llamadas presas muros con contrafuertes de pantalla vertical, tipificación dada para presas mexicanas por el ingeniero español Manuel Díaz-Martha, quien analizó una serie de presas en Guanajuato que presentaban un muro delgado y vertical de mampostería que da al empuje del agua, al que llamó pantalla, y se apoyaba sobre altos contrafuertes, también casi ver-

ticales y aislados, cualidades que llamaron notablemente su atención debido a que supuso un alto grado de dificultad en su diseño para soportar el empuje del agua.¹¹

En un posterior análisis en torno a cuáles pudieron ser las características en el diseño de este tipo de presas —que les brindan estabilidad—, se efectuó un estudio tomando como ejemplo la presa de San Pedro, ubicada en la ciudad de Guanajuato,¹² evidenciándose que seguían un tipo de diseño geométrico similar al trazado de una platabanda, en el que se determinaba la ubicación de los contrafuertes mediante líneas de proyección, mismas que a su vez, respecto a un punto de fuga, dividían a manera de dovelas a la cortina triangulada y al agua embalsada, para contenerla así en secciones de empuje. De esa manera, mediante contrafuertes que podían parecer aislados, y en algunos casos de diferentes volúmenes, a cada sección de empuje de agua correspondía un peso de mampostería en el principio de su trazo y en su final, en el que comenzaba una nueva, lo que aunado a la distribución del agua embalsada, que hacía el mismo triángulo de la cortina con un plano o lado inclinado, propiciaba las reacciones necesarias para evitar una falla estructural.

Una descripción similar a la delineación anterior, en relación al efecto que presentaba la forma del triángulo ante la carga del agua, está documentada para presas en forma de arco por Granda,¹³ quien argumenta:

⁸ Por chichimecas se conoce a un conjunto de grupos indígenas de costumbres nómadas y seminómadas que habitaban gran parte del actual norte de México; uno de estos grupos, al que nombraban guachichiles, fue particularmente hostil y responsable de los principales ataques contra las caravanas que transitaban el Camino Real.

⁹ Philip W. Powell, *op. cit.*, pp. 32-33.

¹⁰ Como parte integral de los proyectos referidos, se efectuaron trabajos arqueológicos en diferentes partes del sitio bajo la dirección del arqueólogo canadiense Christopher Neill Wilhelm, los cuales terminaron en 2003, y tenían como objetivo la localización de elementos arquitectónicos del sistema hidráulico, obteniendo notables resultados al encontrarse toda una sección de cuartos de adobe y un muro o dique.

¹¹ Manuel Díaz-Marta, “La ingeniería colonial en el nuevo mundo. Alardes constructivos en Guanajuato”, en *Revista de Obras Públicas*, núm. 3111, Madrid, julio de 1974, pp. 495-500.

¹² Víctor Hugo Zapata Cerda, “Historia y construcción de la presa de San Pedro (siglo XIX), Guanajuato, Gto.”, en *Boletín de Monumentos Históricos*, núm. 10, México, mayo-agosto de 2007, pp. 26-55.

¹³ G. Enrique Granda, “Apuntes sobre la forma en planta de las presas-muro”, en *Revista de Obras Públicas*, núm. 2558, t. 1., Madrid, 1930, p. 452.

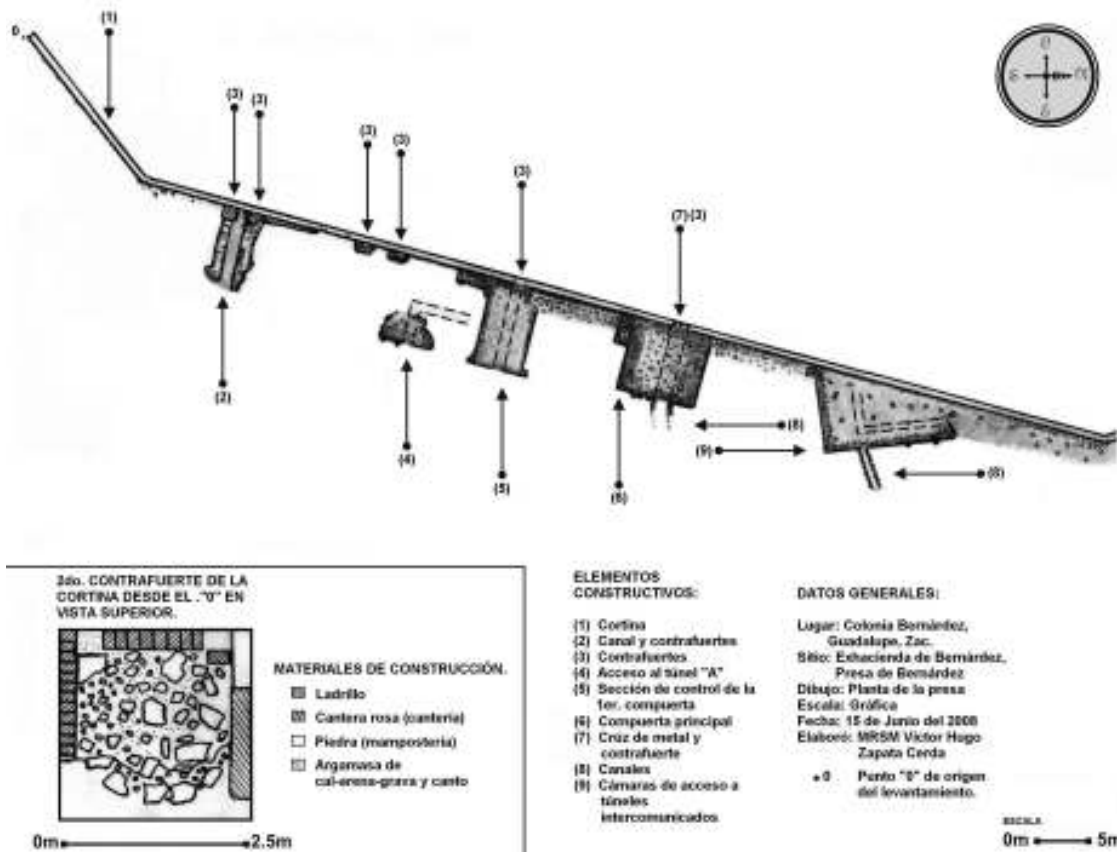


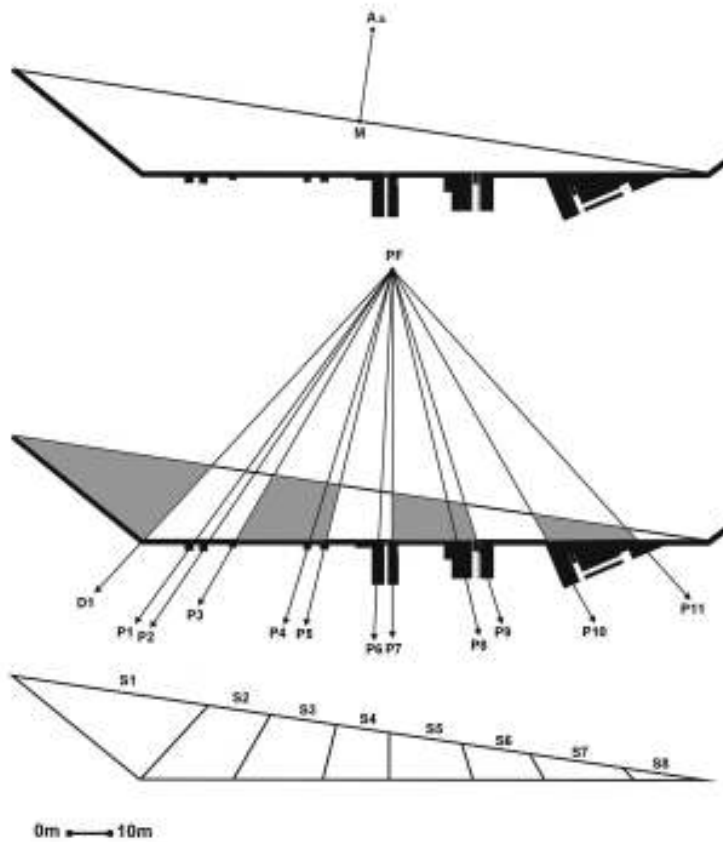
Figura 2. Planta de la presa. Dibujo de Víctor Hugo Zapata Cerda.

La planta, que pudiéramos llamar clásica, o sea la curva circular, tiene a su favor, a parte de su repetida experiencia, el argumento, más intuitivo que técnico, de buscar el apoyo horizontal ofrecido por las laderas del desfiladero en la cerrada, como garantía complementaria de la resistencia del dique contra el empuje hidráulico; y otro, de mayor lógica y fuerza, circunscrito a aumentar la elasticidad de la obra, para sus cambios de dimensiones con las variaciones de temperatura, facilitando, en caso de producirse grietas verticales, la tendencia a su cierre por la misma presión del agua.

El párrafo anterior expresa un empirismo constructivo que se basaba en tomar las laderas como apoyos para la cortina curva, tal como lo haría un arco con los sálmeres y arranques en el efecto de compresión, explicándose que con tal disposición se buscaba un complemento a la re-

sistencia de la estructura, pues las presas funcionan fundamentalmente por gravedad, resistiendo por su propio peso el empuje del agua y la presión hidrostática en la base. Si bien es cierto que se trataba de una noción empírica, también es que se encuentra físicamente fundamentada, debido a que la presión del agua se desplaza de manera uniforme por todo el recipiente que la contiene, por ello, se lograría el efecto de compresión. A continuación se presenta el plano de planta de la presa de Bernárdez, seguido por el esquema del análisis geométrico de la misma, en el que se esclarecen gráfica y cuantitativamente los principios técnicos enunciados para el caso de una triangulación.

La planta de la presa (figura 2) muestra los elementos que la componen; la cortina mide 157





DATOS GENERALES:

Lugar: Colonia Bernárdez, Guadalupe, Zac.
 Sitio: Estaci3n de Bernárdez, Presa de Bernárdez.
 Dibujo: Planta arquitect3nica de la presa, representaci3n de su trazo de acuerdo a un dise1o funcional.
 Escala: Gráfica.
 Fecha: 15 de Junio del 2006.
 Elabor3: MRSM Victor Hugo Zapata Cerda.

NOTACION:

A.A. - Perpendicular del lado "A".
 M - Mediatriz del lado "A".
 PF - Punto de fuga.
 D1 - Angulo de desviaci3n.
 P1(x) - Peso y su n3mero correspondiente.
 S1(x) - Secci3n de agua y su n3mero.

Áreas de las secciones	Civiles ATTFans	Cociente de secciones [V]
S1= 411m	S1= 588.79	S1/S2 = 1.41
S2= 343.78m	S2= 419.24	S2/S3 = 1.17
S3= 294.59m	S3= 339.26	S3/S4 = 1.50
S4= 195.71m	S4= 218.47	S4/S5 = 3.89
S5= 220.47m	S5= 268.89	S5/S6 = 1.45
S6= 181.78m	S6= 165.10	S6/S7 = 1.87
S7= 142.27m	S7= 173.59	S7/S8 = 1.87
S8= 23.81m	S8= 031.47	S7/S8 = 3.87

OBSERVACIONES: La v3n se bas3 de 22m debajo a que es el ancho de la corona de la presa. En la analogía del trazo de la presa mediante un método geométrico, como si fuera un arco adistado, se observa una distribuci3n l3gica de las secciones de agua que van de mayor a menor, de acuerdo al ángulo de desviaci3n del líquido. Destaca la secci3n S4 y el cociente S4/S5, pues es menor que las secciones y cocientes que le preceden, lo anterior se debe, de acuerdo a la triangulaci3n de la presa y su divisi3n por el punto de fuga, a que tal componente toca al lugar de la clave, área en que se ubican las compuertas, logrando así, un empuje del agua variable, que podria ser menor a otras secciones.

Figura 3. Planta geométrica. Dibujo de Victor Hugo Zapata Cerda.

m de largo y la corona 0.82 m de ancho. Se puede destacar la presencia de cuatro canales, aunque aparentemente sólo dos estaban liados de modo directo a salidas de agua, otro correspondiente al elemento número 2, quizá servía para encauzar el agua de un aliviadero, mientras el último, el número 8, se ubica en el interior de una cámara que visiblemente no presentaba conexión directa con el área del agua embalsada; no obstante, esto pudo ser modificado en alguna etapa constructiva. Las líneas punteadas representan túneles, el 5 y 6, respectivamente, corresponden a la compuerta y a una salida de agua supeditada a la cortina; otros no presentan salida, como es el caso del número 4, que destaca por tener un acceso propio, mientras algunos, como

el número 9, comunican a las cámaras. Es prematuro proponer que todo el complejo estaba conectado por los túneles sin un estudio arqueológico que lo compruebe, en el que se realicen las calas apropiadas para explorar cada galería, y así liberarlas de un posible relleno posterior a su construcción.

Interpretando el pensamiento lógico en el trazado de la presa, sin tener en cuenta por el momento la profundidad del agua y bajo los principios técnicos ya mencionados, en la figura 3 se puede apreciar que la primera sección es triangular, es la de mayor área y en su término (D1) se encuentra en la cortina el vértice del triángulo que desplaza el líquido hacia las otras secciones. La contigua, denominada "S2", posee

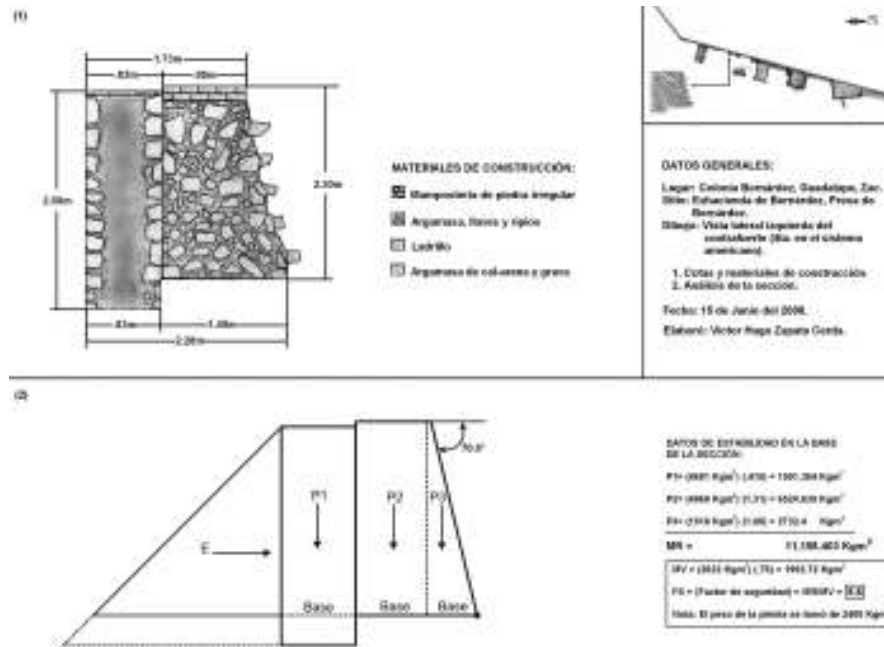


Figura 4. Corte contrafuerte. Dibujo de Víctor Hugo Zapata Cerda.

dos contrafuertes en su tercio medio ésta, ya de forma trapezoidal, es la segunda de mayor área y tal vez esa sea la causa de que cuenta con tales apoyos. Las otras disminuyen de modo gradual hasta el final de la cortina, a excepción de las denotadas como “S4” y “S5”, que poseen un área inversamente disímil, dado que la disminución de áreas va de “S1” la mayor a “S8” la menor; la razón puede recaer en que fue la fracción elegida para ubicar a los dos flujos de agua principales. A continuación se presentan los resultados de estabilidad, analizando uno de los contrafuertes en el tercio medio de la sección “S2” (figura 4).

Si se considera a la presa como un muro de contención que detiene un material (agua en este caso), teniendo en cuenta que el coeficiente de seguridad debe ser menor de 2, la presa de Bernardéz era estructuralmente eficaz según los cánones actuales de estabilidad, pues cuando contenía agua su coeficiente de seguridad en la

base fue de 5.6. Lo anterior demuestra que la altura dada a los contrafuertes era la indicada en relación con la profundidad del agua. Aunque de manera lógica, si hoy en día podemos apreciar la estructura todavía sólida de una obra hidráulica de esta naturaleza, se puede razonar que cumplió su función cabalmente, no obstante que pudo haber tenido reparaciones en diferentes etapas cronológicas. También se obtuvo un coeficiente holgado en la sección de un contrafuerte analizado de la presa de San Pedro, en la ciudad de Guanajuato, el cual fue de 4.5.¹⁴ Lo anterior podría implicar que siguieron normas de diseño similares. En el caso de estudio, en el elemento referido, la proporción es de 1:1 entre altura y profundidad (espesor); para obtenerla, como lo establece la figura 5, esquema “B”, pudo aplicarse el teorema de Pitágoras.

¹⁴ Víctor Hugo Zapata Cerda, *op. cit.*, p. 43.

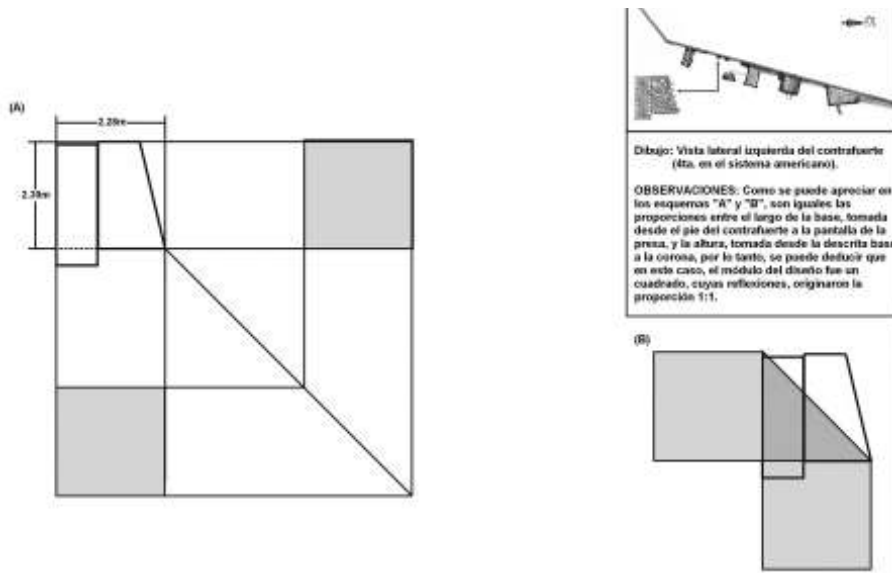


Figura 5. Geometría del corte. Dibujo de Victor Hugo Zapata Cerda.

Construcción de la presa

El primer factor a considerar para la edificación es la fundación, atendiendo que el terreno sea lo suficientemente firme para soportar el peso de la obra. Para examinar el caso de estudio, al no contar con pozos de sondeo, se procedió a la observación directa en los túneles de la presa (figura 6). Al reconocer que uno de estos pasajes, que es también el más profundo en dirección vertical, se encuentra excavado entre las rocas, se puede deducir que la cortina y los muros de sus componentes se erigen sobre la roca madre. Los otros túneles se encuentran revestidos de mampostería y son notoriamente menos hondos.

En cuanto a la naturaleza de los materiales de construcción, las piedras principalmente usadas corresponden a una mezcla de toba de riolita, basalto y cantera rosada; la primera es un material ligero, poroso, con incrustaciones minerales y, en este caso, de color purpúreo; en cambio, el basal-

to es de gran dureza, con muy poca porosidad y de color gris oscuro. Como es de esperarse, el último tipo se usó mayormente para el revestimiento del muro de la cortina en el paramento del embalse. La toba de riolita y la cantera rosa se amalgaman junto con otros tipos en grandes bloques, los que presentan por dimensiones en promedio $35 \times 40 \times 45$, en paralelepípedos regulares e irregulares.

En cuanto a las técnicas constructivas, la presa se edificó básicamente de mampostería irregular, con algunas hiladas de rocas careadas en el paramento del embalse; notoriamente la corona se compone de los bloques ya descritos. Existen en los contrafuertes algunas hiladas de ladrillos que forman la parte superior, seguidos de mampostería de piedra irregular, como se aprecia en la figura 4, esquema 1. Todos los accesos de las cámaras y las compuertas son de cantería, resueltos en platabandas y arcos de medio punto.

El procedimiento constructivo empleado durante el siglo XIX consistió en acomodar las rocas



Figura 6. Túnel del segundo acceso de la cámara 9 en relación con el plano de planta de la presa (véase figura 2). Es también el último acceso desde el punto "O" del levantamiento.

en la mampostería una vez excavados los cimientos, periodo que comprende a la presa en estudio, y que de hecho es como se ha realizado en las diferentes épocas por ser la manera más racional. Juan de Villanueva así lo refiere:¹⁵

176 |

[...] se pondrán dentro de la zanja las piedras más crecidas, trabándolas como se dijo de la mampostería en seco, llenando con cal y ripio los vanos que quedan, y metiendo y extendiendo con la paleta la cal por todos los rincones, haciendo así un perfecto plano por encima, bien apretado y apisonado con un pison. Enrasada una tongada, se comienza otra del mismo modo, hasta que se llegue a la superficie de la tierra, ó á la altura que ha de tener.

El método anterior es lógico, debido a que los bloques más grandes serían los de mayor peso y resistirían a los más ligeros de menores dimensiones. La razón por la que se señaló esta disposición es porque en algunas partes de la cortina no se exhibe tal práctica. A continua-

¹⁵ Juan de Villanueva, *Arte de albañilería*, Madrid, Editora Nacional, 1984, p. 81.

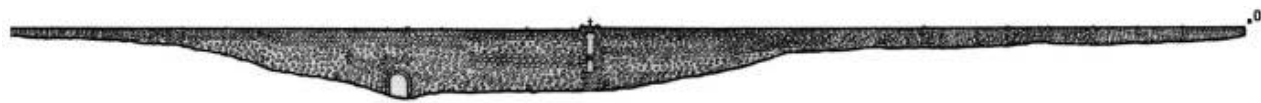


Figura 7. Compuerta principal de la presa (vista de la fachada sureste). Se puede apreciar la cantería en los arcos de medio punto. El recubrimiento del canal es reciente.

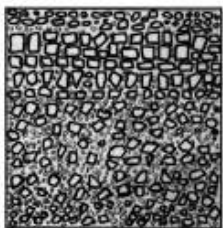
ción se presentan los alzados de la presa en análisis.

Como se puede apreciar en el croquis del sistema constructivo de la fachada noroeste (figura 8), los bloques regulares y más grandes se encuentran en la corona del dique, acomodados en el paramento expuesto al embalse. Lo anterior puede deberse a que el resto de las piedras se encuentran, en parte, recubriendo las paredes de la hondonada que contiene el agua, y de esa manera las piedras más grandes y regulares contendrán la parte del agua que queda sobre el nivel del barranco. No obstante que se intentó dar una explicación lógica al descrito acomodo, y que se observa en algunos edificios del municipio de Guadalupe, lo cierto es que se observan reparaciones en la parte baja del paramento, lo que indica que hubo derrumbes o fallas, muy probablemente debido a la deficiente colocación de la mampostería.




La fachada sureste comprende las cámaras; el acomodo de las piedras obedece a la forma típica de construcción ya descrita, o al menos las piedras pequeñas sí se ubican sobre las medianas y grandes. Con excepción de los accesos de cante-



SISTEMA CONSTRUCTIVO DE LA FACHADA NOROESTE



MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN:

-  Mampostería de piedra irregular
-  Argamasa, llaves y ripios
-  Tladas de bloques, careados c/u por las 6 caras

0m ————— 2.5m

OBSERVACIONES:

Los arcos de la fachada, corresponden a los nombrados de "1/2" punto, trazados mediante la semicircunferencia. El que corresponde a la parte superior de la sección de control de la primer compuerta, presenta un arreglo de "arco de herradura", cerrándose notoriamente la luz.

DATOS GENERALES:

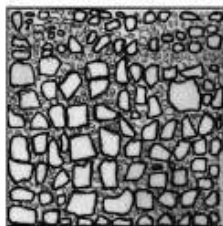
Lugar: Colonia Bernárdez, Guadalupe, Zac.
 Sitio: Exhacienda de Bernárdez, Presa de Bernárdez.
 Dibujo: Fachada noroeste de la cortina presa.
 Escala: Gráfica.
 Fecha: 15 de Junio del 2008.
 Elaboró: MRSM Victor Hugo Zapata Cerda.
 0. punto "0" de origen del levantamiento.

ESCALA
 0m ————— 5m




Figura 8. Fachada noroeste de la cortina de la presa. Dibujo de Victor Hugo Zapata Cerda.



SISTEMA CONSTRUCTIVO DE LA FACHADA SURESTE.



MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN:

-  Mampostería de piedra irregular
-  Argamasa, llaves y ripios
-  Ladrillo

0m ————— 2.5m

OBSERVACIONES:

Los arcos de la fachada corresponden a los nombrados "de 1/2 punto", trazados mediante la semicircunferencia. Los otros vanos corresponden a platabandas, también llamados "arcos adintelados", por formarse de dóvelas.

DATOS GENERALES:

Lugar: Colonia Bernárdez, Guadalupe, Zac.
 Sitio: Exhacienda de Bernárdez, Presa de Bernárdez.
 Dibujo: Fachada sureste de la presa.
 Escala: Gráfica.
 Fecha: 15 de Junio del 2008.
 Elaboró: MRSM Victor Hugo Zapata Cerda.
 0. Punto "0" de origen del levantamiento.

ESCALA
 0m ————— 5m

Figura 9. Fachada sureste. Dibujo de Victor Hugo Zapata Cerda.

ría y recubrimientos abovedados, las piedras de los muros constituyen grandes bloques irregulares, no careados, y algunos salientes a la manera de escalones, como en el caso de la compuerta principal (figura 9), mismos que servían para

alcanzar el segundo piso de la misma, y así controlar el paso del agua mediante tablonés. En seguida se presenta el alzado de la fachada sureste.

La mezcla usada en la edificación de la presa es de cal-arena y canto, usando llaves y rajuelas

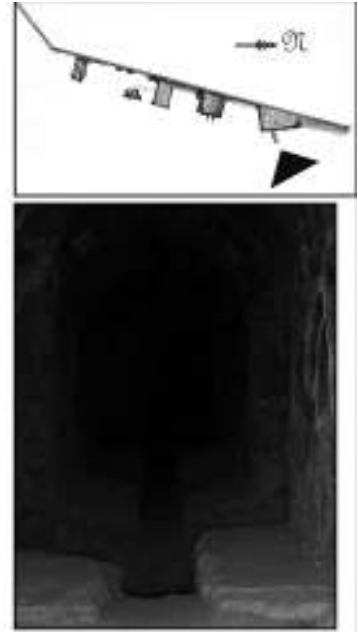


Figura 10. Canal del acceso (véase la figura 2, acotación 9).

entre las juntas, así como algunos tabiques aislados de ladrillo cosido. Existe una cruz de metal en el contrafuerte de la compuerta principal, según testimonios locales, corresponde a la señalización del deceso de un hombre. La cruz es contemporánea.

Conclusiones

Antes de profundizar en la problemática planteada en la introducción, es pertinente destacar que la principal característica de la presa de Bernárdez, y lo que la hace diferente a otras presas muro con contrafuertes, es la complejidad de su diseño. Para comenzar, la presa no tiene caja de agua, ni existen elementos con los que se pudiera determinar que alguna vez existió. Al parecer, sus compuertas y canales dividían y distribuían directamente el líquido hacia las áreas productivas y habitacionales. Destaca la especialización del último canal desde el punto "0" del levantamiento arquitectónico; éste se encuentra par-

cialmente partido en su interior, y a excepción de los otros canales que están a ras de piso, al exterior presenta una conducción artificial en pendiente, con un grado de desviación horizontal aproximado a 5 grados desde el paramento de acceso. Su diámetro es de casi 10 cm.

Si bien su diseño es un caso destacado de la ingeniería hidráulica de su tiempo, su irregular construcción no se le equipara. Aunado a las reparaciones ya descritas en el paramento que guarda el embalse, la presa presenta bloques sueltos en la corona, quizá debido a la pérdida de la mezcla en las juntas. El inmueble en estudio se encuentra prácticamente aislado, no está sometido a ningún tipo de carga viva como en otros ejemplos similares que son usados como puentes peatonales y, por otro lado, el clima de la región es semidesértico, por lo que se puede desprender que de estar sometida a los mismos problemas de conservación de otros arquetipos similares, tal vez la presa de Bernárdez presentaría ya serias fallas estructurales. Lo que se puede colegir de

sus constructores es que su diseño fue trazado por un especialista, mas la supervisión de la obra pudo recaer en otros responsables.

Aludiendo a la problemática planteada, el propósito en el texto de la presente investigación fue proponer qué características posee el diseño de la presa de Bernárdez, que fueron lo suficientemente eficaces para hacerla funcional y que llevara a cabo su desempeño durante largo tiempo. Destaca el manejo del triángulo para la distribución de los empujes en el razonamiento geométrico del diseño. El principio del plano inclinado o la cara inclinada fue descrito por Herón de Alejandría en el siglo I d. C., junto con otras máquinas “elementales” (la cuña, el tornillo, la palanca y la rueda) cuya combinación, argumentaba, per-

mitía los mecanismos apropiados para la tracción y desplazamiento de los cuerpos.¹⁶ Desde la antigüedad, su empleo más común ha sido en el uso de rampas, en el caso de estudio se adaptó para el desplazamiento del líquido. Para finalizar, durante la época considerada hoy como histórica (siglos XVI a XIX), en el México actual es prudente destacar la importancia de la geometría en la erudición. Parte de ese conocimiento fue difundido desde el siglo XVII por los jesuitas que arribaron a la entonces Nueva España, quienes tenían un gran discernimiento del mundo clásico, destacando la importancia de la lógica aristotélica y las matemáticas, priorizaban la geometría en detrimento del álgebra, y fueron capaces de desarrollar un modelo de física y ciencia experimental.¹⁷



¹⁶ José Manuel Gonzáles Rodríguez, “Aplicaciones mecánicas de la geometría. Tecnología y desarrollo de la cultura material en Grecia”, en *Historia de la geometría griega. Actas año 1*, Madrid, Universidad de la Laguna, 2004, p. 527.

¹⁷ Luce Giard, “La actividad científica en la primera compañía”, en *Artes de México*, núm. 82, *Los jesuitas y la ciencia. Los límites de la razón*, México, Artes de México/CNCA, febrero-marzo de 2007, pp. 9-13.