

Los acueductos de Zempoala y Xalpa: sitios históricos de la ingeniería civil

HORACIO RAMÍREZ DE ALBA*

The aqueducts of Zempoala and Xalpa: civil engineering historical sites

Abstract. *The aqueducts of Zempoala and Xalpa are described in their setting of Colonial monumental hydraulic construction, some historical data are presented, and references are made to technical characteristics relevant to their structural properties and hydraulic functioning. An evaluation is formulated concerning their safety and efficiency, making use of today's criteria and methods, but keeping in mind the principles of design which were supposedly used at their construction, concluding that they can be considered as authentic monuments in the history of civil engineering.*

Introducción

Los requerimientos de agua para uso humano y agrícola han sido preocupación importante desde que el hombre decidió ser sedentario. Rara es la población que no sufre por el suministro de agua, que muchas veces es escaso, aunque en ciertas épocas del año se tengan problemas con el exceso del líquido en forma de lluvia.

Los asentamientos humanos más importantes se fundaron cerca de algún cuerpo de agua.

Para el control, mantenimiento y uso del agua, el ingeniero ha construido grandes obras hidráulicas. Los egipcios fueron maestros en el manejo del agua para riego, pero los desarrollos realmente ingenieriles se debieron a los romanos que, para llevar agua a sus principales ciudades, construyeron largos acueductos. Es usual pensar sólo en grandes arcadas cuando se habla de acueductos, pero todos los componentes son importantes para la conducción del agua.

En seguida, se hace una breve descripción de los componentes de los principales acueductos construidos por los romanos:

a) La obra de toma sirve para captar la fuente del agua que puede ser un manantial o un río. Para ello, usaron la represa de tierra o enrocamiento.

b) La conducción generalmente era una acequia o canal revestido que se soportaba directamente en el terreno, cuando éste era uniforme y estable, o bien sobre tapias y arcadas cuando el terreno era irregular o de baja resistencia.

c) Para salvar obstáculos en forma de elevaciones había dos recursos: hacer rodeos por medio de acequias construidas en las laderas o cavar túneles. Los ingenieros romanos recurrían a los túneles, pero trataban de evitarlo en lo posible, ya que era costosa su construcción y riesgosa su operación; más de una vez los acueductos quedaron cegados por derrumbes.

d) Para salvar depresiones o barrancas, se tenían dos recursos: los puentes a base de arcos sobrepuestos apoyados en machones robustos, y el sifón invertido, construido con tubos de plomo que permitían conducir el agua hasta el fondo de la barranca y luego subirla por el otro lado gracias al efecto de sifón. Por cuestiones económicas generalmente construían puentes en barrancos con altura de hasta 45 metros, y recurrían al sifón cuando la altura era mayor. Excepción importante es el famoso Puente de Gard (Pont du Gard) en el acueducto de Nimes.

La tecnología hidráulica de los romanos no fue superada sino a fines del siglo pasado. Uno de los pueblos que mejor aprendió las técnicas constructivas romanas fue el español y a ellos debemos que en México y, en particular, en el Estado de México, se cuente con ejemplos notables de acueductos y en especial de puentes para acueducto. Sin embargo, esto no habría sido posible sin la habilidad y resistencia de los trabajadores manuales naturales de estas tierras.

* Investigador de la Facultad de Ingeniería, UAEM.



Los asentamientos humanos que se formaron antes de la conquista en el actual Estado de México, se localizaron próximos a una fuente de aprovisionamiento de agua. Los centros ceremoniales construidos en las alturas contaban con aljibes para recoger el agua de lluvia, y cuando escaseaba era subida por medio de largas cadenas humanas que se pasaban de mano en mano los recipientes con agua.

Los habitantes prehispánicos de Teotihuacán practicaron intensamente la irrigación, medio que les ayudó a obtener cosechas de maíz para alimentarse. La palabra *apantli* (hilera de agua) la usaron para designar las acequias o acueductos.

Por otro lado, gracias a la tecnología espacial, recientemente se descubrieron los restos de una intrincada red de canales en la zona que antiguamente ocupó la civilización maya, lo cual vino a responder una pregunta formulada desde hace mucho tiempo acerca de como logró esta cultura alimentar a su numerosa población.

La geografía e hidrología del Estado de México no ofrecen grandes recursos acuíferos, no existen grandes ríos y el subsuelo no es en general apto para el almacenamiento de grandes mantos acuáticos. Las lluvias, con promedio estatal anual de 870 milímetros no se pueden considerar escasas, pero tampoco abundantes, y el agua de lluvia tiende a irse rápidamente a menos que se le retenga y conduzca por medio de costosas obras. Tomando en cuenta lo anterior, se comprenderá que no estamos en un estado rico en recurso acuífero. Además, dos aspectos agravan la situación: la contaminación de los ríos y mantos subterráneos, y la exportación del agua a la capital.

Se pueden encontrar obras hidráulicas importantes construidas en diferentes épocas para poder aprovechar ese recurso vital; en este artículo se describen dos de estas obras cuyo uso fue la conducción de agua para servicio agrícola o humano.

En la época colonial se construyeron acueductos de diferentes tipos, algunos de ellos monumentales; los más notables quedaron en el actual territorio del Estado de México. Romero de Terreros (1949) aporta datos de gran importancia sobre los principales acueductos de México, incluyendo los aquí tratados: Acueducto de Zempoala y Acueducto de Xalpa.

El autor de este libro señala que: "Después de los romanos, fueron los españoles quienes mejor supieron construir obras sólidas, robustas y grandiosas. Esta afirmación, que puede parecer atrevida, no lo es, si se toma en consideración los edificios que se levantaron en México durante el virreinato: iglesias, monasterios, catedrales, palacios, fortaleza, acueductos". En este trabajo se presentan datos técnicos adicionales relacionados con los acueductos antes mencionados; en particular, se tratan aspectos estructurales de sus puentes.

I. El acueducto de Zempoala

Fue construido entre 1543 y 1560 (algunos autores mencionan 1554 a 1571) y se estima que se usó por más de 200 años antes de quedar abandonado por el mal mantenimiento.

Su longitud total es de 50 kilómetros con tres largos puentes: el primero, de 47 arcos; el segundo, de 17 arcos, y el más importante, en la barranca de El Papalote en Tepeyahualco, con 67 arcos y 1,020 metros de longitud. El arco mayor contiene una altura de 38 m y claro libre de 17 m; este claro es muy superior al de arcos para templos y catedrales de la época, que solo llegaban a 10 ó 12 m.

Esta impresionante obra fue el producto de dos fuerzas combinadas que están presentes en toda construcción de grandes dimensiones: la primera, individual, una dirección acertada, metódica y fuerte a cargo de fray Francisco de Tembleque, y la segunda, colectiva, a cargo de un ejército de albañiles, canteros y peones. Parte de este acueducto, con las arcadas principales, está localizado en el actual territorio del Estado de Hidalgo, ya que fue concebido para llevar agua de los manantiales del cerro del Tecajete cerca de Zempoala, Hidalgo, hasta Otumba, punto forzoso de tránsito en el Camino Real de Veracruz a México. De hecho, el primer tramo construido sirvió para llevar el agua a Zempoala como recompensa a sus habitantes, que consideraban el agua de su propiedad. Por lo tanto se puede apreciar como una obra del Estado de México, construida por artífices de Otumba y Teotihuacán. En su obra Octaviano Valdés (1945: 32) recrea la fuerza de Fray Francisco de Tembleque y lo diestro de los albañiles en un diálogo entre el guardián de Otumba y el padre Tembleque:

CUADRO 1

DISTANCIAS Y ALTURAS SOBRE EL NIVEL DEL MAR DE ALGUNOS PUNTOS IMPORTANTES DEL ACUEDUCTO

LUGAR	ALTURA SOBRE EL NIVEL DEL MAR (EN METROS)	DISTANCIA (EN KILÓMETROS)
MANANTIALES	2,700	-
CERRO DEL TACAJETE	2,850	-
ZEMPOALA, HIDALGO	2,450	8
BARRANCA DE TEPEYAHUALCO	2,425	13
ARCOS SOBRE LA BARRANCA DE TEPEYAHUALCO	2,465	-
SANTA INÉS	2,460	2
NOPALTEPEC	2,420	10
OTUMBA	2,370	12

• Pero aunque estuvieran los veneros a nivel superior al de Otumba –según afirmáis–, habríais de menester de milagros para salvar los enormes barrancos del trayecto.

• Los indios, con la ayuda de Dios, harán los milagros –responde a estas razones–; tendremos puentes. Muy diestros cortadores de piedra hay por esta tierra de Otumba. Bien sabe vuestra paternidad que se habla de contratar entre ellos, para que presten su mano de obra en la construcción que se proyecta de la Catedral de México. ¿No son contundente argumento a favor de su destreza los magníficos templos que erigieron en su gentilidad y los que ahora levantan para el cristianismo, como el de Acolman y Huexotzingo?

Las fórmulas matemáticas en que los ingenieros se basan para calcular el flujo de agua por gravedad en los canales fueron desarrolladas hasta el siglo XIX, por ello es notable el diseño logrado, en este caso, para que el agua fluyera eficientemente en tanta longitud.

No se encontró, en las obras consultadas datos de la manera en que el Padre Tembleque adquirió conocimientos de hidráulica y construcción. Se cree, sin embargo, que por lo menos debió tener acceso a los conocimientos empíricos que dejaron los romanos. Es posible que como parte de su instrucción, los frailes destinados al Nuevo Mundo llevaran cátedras de construcción. Sin embargo, Octaviano Valdés, autor del libro sobre este personaje, no le concede estos conocimientos:

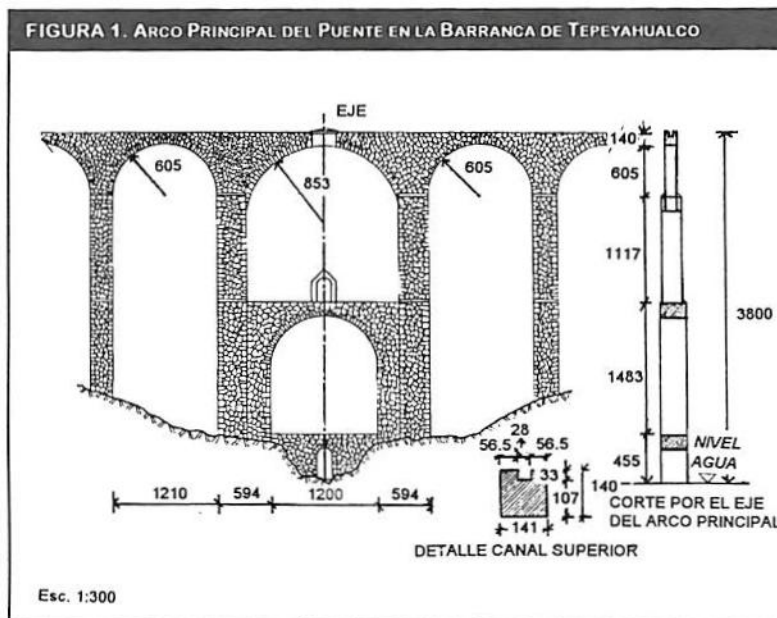
“Sus superiores han caído en la cuenta de que es capaz de difíciles desempeños quien con extraordinario ingenio e industria hizo obra tan insigne, segura y perfecta, sin haber aprendido en su vida el oficio de constructor” (*ibid*: 92).

Las características técnicas de esta obra se pueden resumir si se hace una comparación con algunas reglas empíricas –hidráulicas y de construcción– que utilizaban los romanos para proyectar sus acueductos, por ejemplo las siguientes (Vitruvius, 1960):

La pendiente mínima debe ser de 0.7 m/Km (0.0007). En el caso del acueducto de Zempoala, la pendiente media es de 0.0036, y la mínima 0.0009.

En cuanto a la sección rectangular óptima, la regla empírica romana indicaba: *la base debe ser igual al doble del tirante de agua o altura*.

Esta regla está basada en que la cantidad de agua que toca la superficie, en relación al volumen de agua en el canal, será mínima para esa relación entre base y tirante, y por lo tanto, mínimas las pérdidas por fricción. En el caso del acueducto de Zempoala, la base es de 36 centímetros (cm), y la altura de 20 cm.



Los romanos utilizaban el llamado concreto romano, que era una mezcla de arena, cal y puzolana (ceniza volcánica), pues otra de sus reglas era que la superficie del canal debe contar con *terminado pulido* para disminuir la pérdida por fricción.

En el caso del acueducto de Zempoala, el aplanado fue de argamasa (arena, cal y agua). Este aplanado tiene gran dureza y durabilidad, gracias a la adición de puzolana o picadiz.

Por lo que toca a cimientos, la regla empírica establecida por los romanos era: *profundidad igual a un décimo de la altura del machón, y base igual a dos veces el lado del machón*. El acueducto de Zempoala satisface estos requisitos.

El arco es un aspecto estructural incluido en las reglas romanas, donde se ordenaba una *relación de esbeltez* (radio del arco dividido entre el peralte) *entre 5 y 10*. En el acueducto de Zempoala esa relación es de 8.

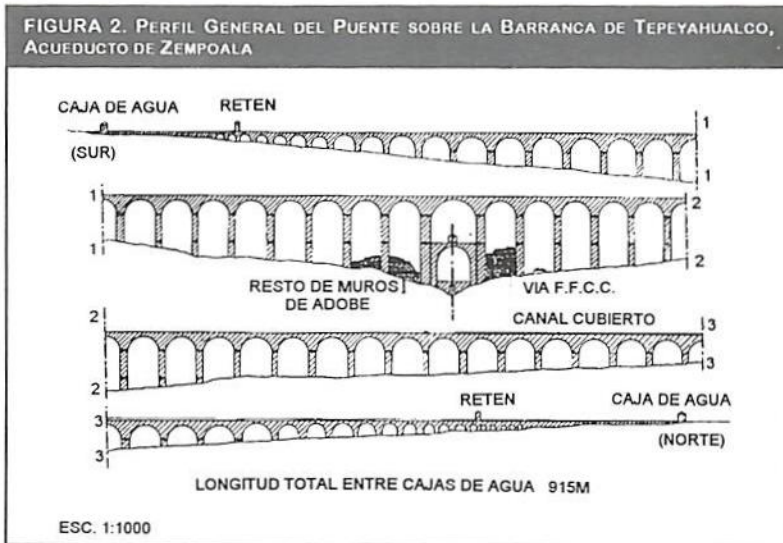
Finalmente, para los machones o pilares, se establecía:

Dimensión de frente = claro del arco dividido entre 5.

Dimensión de espesor = altura total dividida entre 10.

El acueducto de Zempoala tiene 3.38 m de frente y su relación con el claro es 4.7. Su espesor mide 2.54 m, y su relación con la altura es 14, es decir, presenta mayor esbeltez que la aconsejada en las reglas romanas.

Como se puede apreciar en las comparaciones presentadas, el acueducto de Zempoala cumple adecuadamente las reglas de diseño, sólo los pilares son mucho más esbeltos que lo recomendado por los romanos. La geometría general del arco principal en el puente de Tepeyahualco se muestra en la figura 1 y un perfil general del mismo se muestra en la figura 2.



La obra está hecha con roca basáltica de la región, en su mayoría sin labrar, sólo en las aristas de los machones se tienen grandes piedras labradas, aparejadas más cuidadosamente como *pie derecho* y *garabato*, alternando sillares verticales con horizontales.

Las piedras están junteadas con mortero de arena y cal de gran calidad como lo demuestra el estado actual de conservación, libre de deterioros notables. En la época de uso de la obra se hacía notar su gran calidad; fray Juan de Torquemada (1969: 409) quien visitó la obra en 1625, expresó:

"...Y es cosa tan fuerte, que desde que se hizo, que ha más de sesenta años, hasta ahora no se ha quebrado parte del caño, ni ha resumado el agua, que es cosa muy ordinaria en otros, por ninguna parte de él, ... donde se echa de ver la grandeza de la obra y como tuvo este bendito religioso mucha mano y ayuda de Dios para hacerla".

Es sorprendente que la estructura esté en pie después de casi 430 años a partir de su terminación, en una zona donde son frecuentes los fuertes vientos y donde el efecto de los sismos se ha dejado sentir en muchas ocasiones. Esto mismo ya había sido señalado a finales del siglo pasado por Manuel Rivera Cambas (1985): "Los arcos construidos bajo la dirección de Fray Tembleque aún subsisten, y ni los temblores ni la intemperie han logrado destruirlos".

¿Qué tan fuerte es la estructura de la arcada principal? Siguiendo procedimientos actuales se puede estimar la resistencia de los componentes principales y comparar con las fuerzas o sollicitaciones máximas esperadas.

La carga máxima repartida que puede soportar el arco principal es de 203,000 kilogramos (kg). Esta es la carga resistente. La carga debida al peso propio del arco y el agua, suponiendo el canal lleno, es de 114,500 kg. Esta es la carga actuante. El factor de seguridad es la relación entre la carga resistente y la

actuante; para este caso resulta de 1.77. Esta cifra se puede interpretar de la siguiente manera: si las cargas aumentaran 77% más allá de lo normal, se presentaría la falla teórica.

Por lo tanto, este margen de seguridad es muy razonable, sobre todo al considerar que los reglamentos de construcción modernos fijan factores de seguridad de entre 1.5 y 2.3, dependiendo del tipo de estructura y de las cargas consideradas.

Este tipo de estructuras es más vulnerable a las cargas laterales, debidas al viento o a terremotos, que a cargas verticales por peso propio y peso del agua. El efecto de un viento muy fuerte sería el de causar el volteamiento de la estructura (ver figura 3).

Los cálculos hechos para este caso indican que para el nivel de desplante, un viento de 102 km/hora causaría la aparición de esfuerzos de tensión (los esfuerzos hacia arriba debidos al empuje del viento igualarían los esfuerzos hacia abajo debidos al peso propio de la estructura). Se requeriría un viento de 177 km/hora para provocar el volteamiento total de la estructura al nivel del desplante. Los cálculos hechos para el nivel donde arranca el arco principal propiamente dicho (sección A-A en figura 3) indican 105 km/hora para la aparición de esfuerzos de tensión y 182 km/hora para el volteamiento total. Según datos de la Dirección General de Geografía y Meteorología de la Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos, la velocidad máxima probable en la zona es de 110 km/hora. Esto significa que el arco principal se encuentra al limite en cuanto a los efectos de viento; se puede decir que sería un diseño apegado a los procedimientos modernos de cálculo. Esto resulta sorprendente porque se tiende a pensar que la estabilidad de este tipo de estructuras se debe a que fueron proporcionadas en forma muy sobrada, mientras que el análisis demuestra que presenta un margen de seguridad razonable, comparable al de estructuras modernas.

La resistencia de esta estructura a las fuerzas del viento queda ilustrada claramente por Octaviano Valdés (1945: 83) al describirla como: "Un buen diapasón en donde el viento intentará nuevos silbidos".

El efecto de los terremotos y sismos, es el de causar movimientos del terreno de sustentación y, por lo tanto, fuerzas de inercia que serán mayores para estructuras altas y pesadas. Los cálculos hechos para este caso indican que un sismo que causara aceleraciones en el terreno de 54 gals (un gal es igual a un cm/seg^2) provocaría el volteamiento del arco mayor (ya sea en el nivel de desplante o en la sección A-A). El sismo de septiembre de 1985 se estima que generó aceleraciones en la zona de unos 45 gals, por lo

CUADRO 2

RESUMEN DE LA SECUENCIA DE LA OBRA, ACUEDUCTO DE XALPA

AÑO	EVENTO	DATOS PRINCIPALES
1706	SE OTORGA LA MERCED DE AGUA DEL RÍO DEL ORO	SE CONCEDIERON 32 SURCOS DE AGUA (EQUIVALENTE A UN TUBO DE 1/2 M ² DE SECCIÓN) POR LO QUE DEBERÍA PAGARSE \$300 PESOS ORO COMÚN
1710	PROYECTO "INVENTO" DE LA OBRA	POR EL PADRE PEDRO BERESTÁIN
1764	INICIO DE LA OBRA	OBRA EJECUTADA: 10 LEGUAS DE ZANJAS Y ATARJEAS (40 KM) 43 ARCOS Y ALGUNOS PILARES
1767	EXPULSIÓN DE LOS JESUITAS	HORADACIÓN DE DOS COLINAS. [775 VARAS (650 M)]
1776	ALMONEDAS PARA LA ENAJENACIÓN DE LAS FINCAS	LAS COMPRA PEDRO ROMERO DE TERREROS, PRIMER CONDE DE REGLA, EN UN MILLÓN Y 20 MIL PESOS
1852	SE REINICIA LA OBRA	POR MANUEL ROMERO DE TERREROS, CONDE DE REGLA. OBRA REALIZADA: CONCLUSIÓN DEL TÚNEL DEL CERRO DE LAS LAJAS 21,000 VARAS DE ZANJA Y ATARJEAS (17,600 M)
1854	INAUGURACIÓN DEL ACUEDUCTO (TIRANTE DE 42 CM, VELOCIDAD 57 M/MINUTO)	CERRAMIENTO DE LOS 12 ARCOS FALTANTES EN LA BARRANCA DEL HUISACHE CONSTRUCCIÓN DE 17 ARCOS EN OTROS PUNTOS
?	CONSTRUCCIÓN DE LARGUÍSIMA ATARJEJA HASTA EL RÍO CUAUTILÁN	CAÑO PARALELO AL PUENTE GUADALUPE "DE LADRILLO SOBRE VIGAS, TODO SOSTENIDO POR PILASTRAS DE MAMPOSTERÍA"
1884	SUSTITUCIÓN DE LA TARJEJA DE LADRILLO POR UNA DE MAMPOSTERÍA	CONSTRUCCIÓN DE CINCO ARCOS, EL MAYOR DE 10 M DE ALTURA Y 8.5 M DE CLARO. EJECUTADOS POR EL ALBAÑIL DE XALPA, LIBRADO RIVERA

EL AGUA SE UTILIZABA EN MUCHOS PUNTOS DONDE EL ACUEDUCTO PASABA; EL ÚLTIMO CERCA DE COYOTEPEC, EN TIERRAS PRÓXIMAS A LA LAGUNA DE ZUMPANGO, UNOS 70 KM DESDE EL PUENTE ARCOS DEL SITIO.

tanto, para este caso se tiene también una condición cercana al límite, y se pueden extender los comentarios hechos para el análisis de viento.

El caño, en la parte superior de los arcos, tiene 36 cm de plantilla o ancho y 20 a 22 cm de peralte; por lo tanto, considerando un tirante de agua de 18 cm, en sus buenos tiempos este acueducto debió surtir entre 35 y 45 litros por segundo. Este gasto sería suficiente para dar 200 litros diarios por persona a una población de 15,000 habitantes. Por lo tanto, la opinión que existe en el sentido de que el agua obtenida del acueducto fue poca y desproporcionada respecto al tamaño de la estructura, es incorrecta.

Esta magna obra, a pesar de que ya no tiene uso, queda como monumento a su autor, fray Francisco de Tembleque, y como muestra indiscutible de la habilidad y resistencia de los trabajadores de la construcción en esa zona.

II. Acueducto de Xalpa y Arcos del Sitio

Se trata de uno de los sistemas hidráulicos más impresionantes no sólo en el Estado de México sino en el país. Constó de varios componentes como son: dos túneles, con más de un kilómetro de longitud; dos puentes a base de arcos, el más conocido de ellos llamado Arcos del Sitio; más de 50 km de zanjias y acequias, así como obras de toma y de control (cajas de agua). El puente Arcos del Sitio, que cruza la barranca del Huisache y Mirasol (carretera a El Sitio, km 22 al NO de Tepetzotlán) constituye un caso excepcional desde el punto de vista de la ingeniería estructural, con casi 60 m de altura. Inclusive

los romanos posiblemente se habrían inclinado por un sifón en este caso. Ayudó a esta solución el que la garganta es muy estrecha y fue posible construir las primeras dos arcadas de gran robustez, de tal manera que se puede considerar como un elemento rígido que sirve de apoyo a las dos filas superiores de arcos sobrepuestos. Un esquema general de esta estructura se presenta en la figura 4. La obra se puede ver claramente desde el aire, al viajar en vuelos comerciales hacia el norte del país.

Para apreciar la magnitud del sistema que se construyó en varias etapas de 1764 a 1884, se puede recurrir a la relación que de los hechos hace Manuel Romero de Terreros. En el cuadro 2 se presenta un resumen de dicha relación.

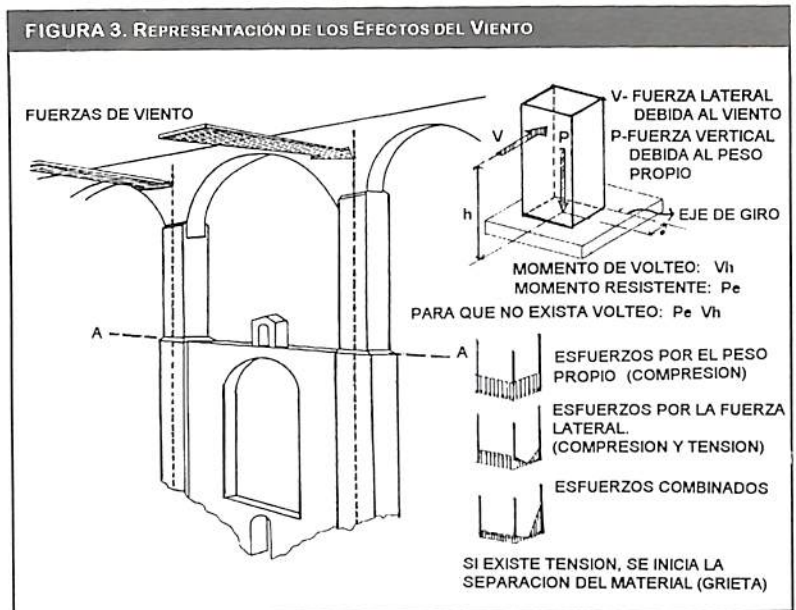
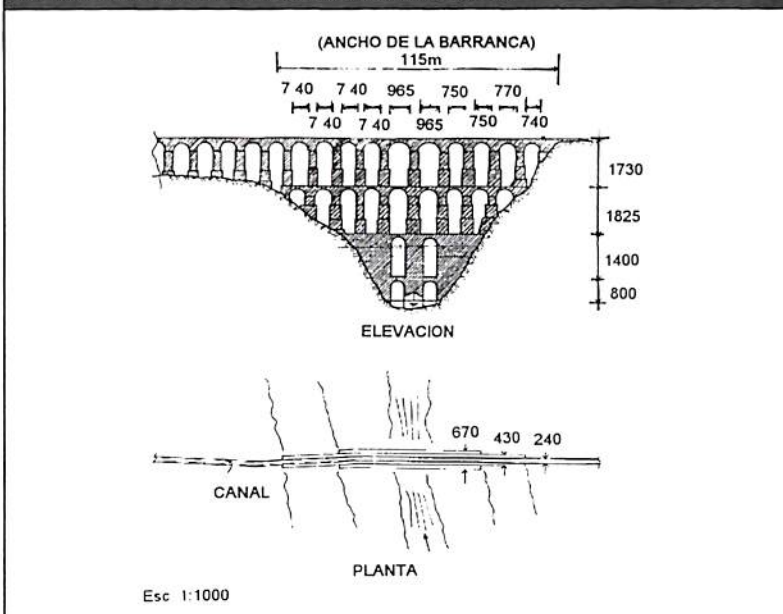


FIGURA 4. ARCOS DEL SITIO DEL ACUEDUCTO DE XALPA



Los jesuitas construyeron las dos primeras arcadas robustas, la primera fila de nueve arcos más esbeltos y los pilares o machones de la fila superior; los arcos quedaron inconclusos al ser expulsados los jesuitas en 1767. No fue sino hasta 75 años después cuando fueron concluidos.

El acueducto duró en operación unos 60 años, hasta ya bien entrado el presente siglo. El gasto que aportaba el acueducto se estima en medio metro cúbico por segundo, que se utilizaba principalmente para riego pero también servía para el abastecimiento de varios poblados como Tepetzotlán y Teoloyucan. La pendiente media del acueducto es de 2 m/km, ó sea 0.002, mayor a las usuales en acueductos romanos.

Para la construcción de la obra se utilizó piedra basáltica de la barranca, muy abundante en el sitio elegido para cruzarla; los arcos y las partes exteriores de los pilares están hechas con piedras labradas junteadas con mortero de cal y arena. La calidad del mortero es muy buena, a juzgar por la consistencia de los residuos que quedaron petrificados al pie de uno de los arcos.

La resistencia del arco superior que soportaba la acequia, más esbelto, es de 204,000 kg como carga repartida, mientras que el peso propio del arco es de 74,000 kg, y el del agua a canal lleno de 10,500 kg, para un total de 84,000 kg; el factor de seguridad es de 2.41 mucho mayor que el arco principal del acueducto de Zempoala.

En cuanto a los efectos del viento, se encontró que la velocidad que causaría esfuerzos de tensión es de 176 km/hora y la velocidad que causaría el volteo es de 305 km/hora. Por lo tanto, en este caso se tiene un margen de seguridad amplio, ya que en la zona se

pueden presentar vientos de 80 a 100 km/hora como máximo.

En cuanto a los efectos de sismos, se encontró que la primera fila de arcos fallaría para un sismo que provocara aceleraciones en el terreno de 80 gals, la segunda fila de arcos fallaría para un sismo que provocara aceleraciones de 54 gals, y la estructura general, para 89 gals. Por lo tanto, para este caso rige el arranque de la segunda fila de arcos (de arriba hacia abajo) y se tiene un margen de seguridad contra sismo similar que para el caso de Zempoala. Se justifica entonces que teniendo mayor altura, se haya proyectado con mayor robustez.

Comentarios finales

Los datos que se presentaron relativos a estas grandes obras de ingeniería civil permiten resaltar la tradición constructiva de los habitantes del Estado de México, que a lo largo de diferentes épocas han dejado muestras de su habilidad y competencia. Se opina que estos monumentos inmuebles representan sitios históricos de la ingeniería civil y vale la pena ser visitados y estudiados. Aquellos que por su actividad tengan relación con la construcción, como ingenieros y arquitectos, encontrarán inspiración y motivación para su profesión al observar estas estructuras; otras personas podrán encontrar seguramente aspectos de interés o simple solaz al encontrarse con estos testigos de la historia.

Este artículo está basado en material recopilado durante el periodo julio 1989-julio 1990, cuando el autor fue investigador visitante en El Colegio Mexiquense, A. C. ♦

BIBLIOGRAFÍA

- Rivera, M. (1985). *México pintoresco, artístico y monumental* (México, 1880-1883), tomo III. Editorial del Valle de México.
- Romero de Terreros, M. (1949). *Los acueductos de México en la historia y en el arte*. UNAM. Instituto de Investigación Estéticas. México.
- Torquemada, J. (1969). *Monarquía Indiana* (Madrid 1723). Porrúa. México.
- Valdés, O. (1945). *El padre Tembleque*. Biblioteca Enciclopédica del Estado de México. México.
- Vitruvius, M. (1960). *The ten books of architecture*. Dover, New York.