

# ACUEDUCTO DEL PADRE FRANCISCO DE TEMBLEQUE

## Descripción Ingenieril de esta Notable Obra del Siglo XVI

Por Enrique Santoyo V. y Efraín Ovando S.

*“Si se conducen las aguas por canales de estructura (aqüeductos)...  
...hágase su estructura sumamente sólida, dando al lecho por donde corre no  
menos de medio pie de caída en cada ciento de viage, cubriendo el canal con  
bóveda para que nunca pueda el sol penetrar al agua (sic)”.*  
Vitruvio (c.a 27 a.C.)

***Fray Francisco de Tembleque*** nació a finales del siglo XVI en la población de Tembleque de la provincia de Toledo, España; se desconoce su nombre de cuna, porque lo cambió cuándo tomó los hábitos de misionero franciscano; arribó a la Nueva España posiblemente en 1540, fue enviado a evangelizar a los habitantes de la zona Otumba, para ello aprendió a hablar con fluidez el náhuatl. Conmovido ante la escasez de agua de esa población, se dice que sin tener oficio ni antecedentes como constructor, tomó la osada decisión de edificar el acueducto de Zempoala; pero “la evidencia del logro” demuestra que siguió reglas específicas de un hábil constructor (Meli, 2011).

La población de Otumba tuvo gran importancia al inicio de la colonia porque en los denominados Llanos de Otumba se consolidó la conquista española con la derrota del ejército mexica; esto explica la importancia del convento franciscano de esa población. Las autoridades del convento se encargaron de tramitar ante las autoridades indígenas de los pueblos de Zacuala, Tlaquipan y Zempoala la anuencia para tomar la mitad de las aguas de los manantiales que afloran al sur del pie del volcán de Tecajete y conducir las a Otumba y Zempoala; convenio que obligó a los franciscanos a proporcionar los frailes que Zempoala y Zacala necesitaran.

Fray Tembleque fue criticado por incrédulos que dudaron de su capacidad para dirigir semejante obra, pero se dice que él fue el único europeo y que la hizo con ayuda de 400 indígenas (Kubler, 1982); durante la construcción, ocho años antes de concluir la obra, el Virrey Don Luis de Velasco envió en 1554 al visitador Don Jerónimo de Velasco y al maestro en cantería Juan José de Correa, el primero para inspeccionar la obra y concluyó que esta valía \$ 90,000.00 pesos; es posible que Correa haya sido enviado para ayudar al Padre Tembleque (Sarabia, 1978 y PATAC, sin fecha)

Cuando se trabajó en los arcos de la parte más compleja, cercana al pueblo de Tepeyahualco, el Padre Tembleque permaneció en una pequeña ermita cercana en el sitio los 5 años que tomó concluir ese tramo; su dedicación para realizar la construcción y ejemplar humildad se demuestra con el relato de que se alimentaba con los conejos y codornices que su gato pardo cazaba durante las noches, para llevarlos al amanecer al Padre Tembleque (Ricard, 1986).

Concluida la obra se asiló en el convento de Todos Los Santos en Zempoala y ya viejo un rayo lo dejó ciego. De ahí fue llevado al convento franciscano de la ciudad de México, en donde su cuidador lo acuchilló, sobrevivió y ya anciano falleció en la ciudad de Puebla en 1589 ó 1590.

***Descripción del acueducto.*** Esta notable obra hidráulica precursora a todos los acueductos de la Nueva España se empezó a construir en 1545 y se concluyó 17 años después y desde entonces se le conoce como el Acueducto de Tembleque (Ruiz, 2005).

La primera acción de la construcción fue facilitar el flujo de agua, ya que el manantial brotaba en una salida pequeña de una colada de basalto, por ello la obra se empezó por abrir un pozo de 5 m de diámetro y profundidad similar; los relatos afirman que con esto se logró aumentar el caudal de agua.

El acueducto empieza como un canal o “apantle” y en su mayor longitud es un caño rectangular de 36 cm de ancho y 20 cm de altura (González, 1992), tenía una cubierta de lajas cementadas como techo de dos aguas de 1.4 m de ancho. A lo largo de su trayecto tenía trampas para depositar las arenas y también cajas de agua para conceder salidas laterales.

Salva cuatro tramos deprimidos que requirieron arcos cuya cuantía se indica abajo, aunque puede haber algún error en los números siguientes:

a) El primer tramo cruza la Hacienda Tecajete con 54 arcos y la Hacienda de Arcos con otros 14.

b) El segundo tramo se identifica como de Amiltepec para el cual se requirió de erigir 13 arcos.

c) El tercero es de sólo un arco se ubica cercano a Acelotla.

d) El cuarto es el más importante con sus 68 arcos, cruza la barranca cercana al pueblo de Tepeyahualco, donde corre el río Papalote, Fig. 1.



Fig. 1 Acueducto en el tramo Tepeyahualco

**Tubos de barro.** En el lado poniente del acueducto según una horizontal y coincidiendo con una disminución del espesor de las pilastras, se advierten restos de tubos de barro dentro de un chaflán de mortero. Se desconoce cuál fue el propósito para insertar esos tubos, en opinión de algunos era para conducir agua para la ejecución de la obra, pero también es posible que hubiera sido un ingenio para definir una referencia horizontal confiable, Fig. 2.



Fig. 2 Tubería de barro en los pilares

**Reto topográfico.** Se desconoce cómo trazó el Padre Tembleque su acueducto, pero de seguro conocía por la antigua recomendación de Vitrubio, que la conducción del agua debería satisfacer la relación de pendiente de “*medio pie de caída en cada ciento de viage(sic)*”, lo cual implica una inclinación de sólo 0.5%, relación válida, tomando en cuenta la rugosidad del caño.

Así los primeros retos era precisar cuál era desnivel entre el manantial de Tecajete y la población de Otumba, así como la distancia entre ambos puntos; datos indispensable para confirmar que el agua fluiría. Para salir de semejante incertidumbre la única opción fue realizar una nivelación topográfica con un corobates, ingenio romano que se describe más adelante, y medir con una cadena la distancia entre los dos puntos según la ruta posible; porque sólo así se pudo tener certeza de que el acueducto fuera funcional.

**Aparatos para la medición de tierras.** Lo más seguro es que el Padre Tembleque recurrió a los instrumentos usuales en ese tiempo, de origen romano (Vitrubio, 1582). Es importante aclarar que hasta finales del Renacimiento se dio la evolución en las técnicas de medición de los terrenos; se puede entonces inferir que los instrumentos utilizados son los que se describen a continuación; además del conocimiento que seguramente tuvo Tembleque de los conceptos básicos de geometría.

a) Cadena. Se cree que los romanos ya se valían de una cadena para medir longitudes, la unidad de longitud básica era el pie de 29.57 cm; para la época de la construcción del acueducto las unidades de longitud era el pie castellano de 27.86 cm y a la vara castellana de 0.838 m.

b) Groma. Servía para el trazado de líneas, era un poste ligero de madera con punta de bronce de unos dos metros de altura, con cinco plomadas que pendían de una cruz excéntrica del poste. Se hincaba la punta en el suelo, cuidando que la plomada central coincidiera con el punto final de la línea y con la visual definida con dos de las plomadas en diagonal; el operador señalaba a un ayudante el siguiente punto; cuando se requería con las otras dos se definía la ortogonal, Fig. 3a.

c) Libella. Servía para medir el ángulo de inclinación del terreno; era una escuadra de madera del orden de 2 metros de altura en forma de la letra A, con una plomada sujeta en su vértice. Se medía el ángulo de inclinación de la superficie del terreno con sólo observar la posición en la que quedaba el hilo de la plomada en el travesaño horizontal, Fig. 3b.

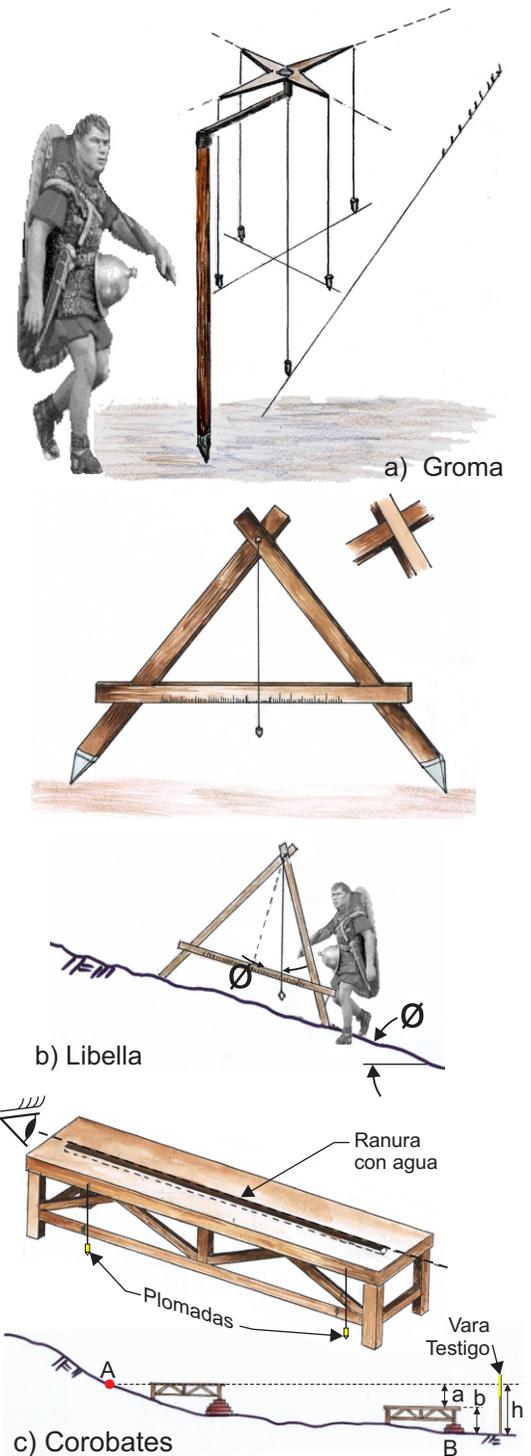


Fig. 3 Instrumentos romanos para topografía

d) Corobates. Servía para definir una horizontal entre dos puntos, era una mesa de madera de 20 pies romanos de longitud, unos 6 m, su altura era del orden de 1.25 m y tenía cuatro plomadas laterales, en la parte superior tenía una ranura de unos 5 m de longitud, 2 a 4 cm de ancho y 2 de profundidad. Se colocaba en el primer punto, ponía horizontal con trozos de madera o piedras bajo las patas que lo necesitaran, las plomadas laterales servían de referencia; a continuación se llenaba la ranura con agua y hacía la corrección fina de la horizontalidad. En este momento la superficie de la mesa permitía visualmente definir la horizontal, que se señalaba en el otro punto, con un poste vertical portátil. Con este instrumento se tiene un error accidental del orden de  $\pm 2$  mm en 10 m, Fig. 3c.

**Dimensiones del acueducto.** Los datos recopilados por el Arq. Ricardo de Robina, anotados en el apéndice del libro “El Padre Tembleque”, indican que la distancia es aproximadamente de 34 km y 250 m de desnivel (Valdés, 2005). Por su parte, en el libro “Ingeniería Española en Ultramar” (González, 1992), se asienta que la distancia entre el manantial y la población de Zempoala es de 8 km y de esa población a Otumba, de 32 km.

La altura máxima entre la cumbre del acueducto en el tramo Tepeyahualco y el fondo del cauce del río Papalote es de 38.7 m; en ese arco se ubican las dos columnas más altas con 33.9 m, cuyo claro es de 17.4 m; en cambio en los arcos laterales el claro se reduce a 11.7 m; estas pilastras más altas tienen dos partes, la inferior es de 14.8 m de altura y la superior de 12.0 m, el ancho en ambas es de 3.2 m; el espesor de la inferior es 2.7 y 2.0 m en la superior; finalmente, el remate tiene 8.7 m de alto y 1.4 m de espesor, Fig. 4. Por su parte, en el tramo Tecajete de 363 m de longitud, el arco con altura máxima tiene 7.34 m. Se advierte que las medidas antes señaladas son aproximadas.

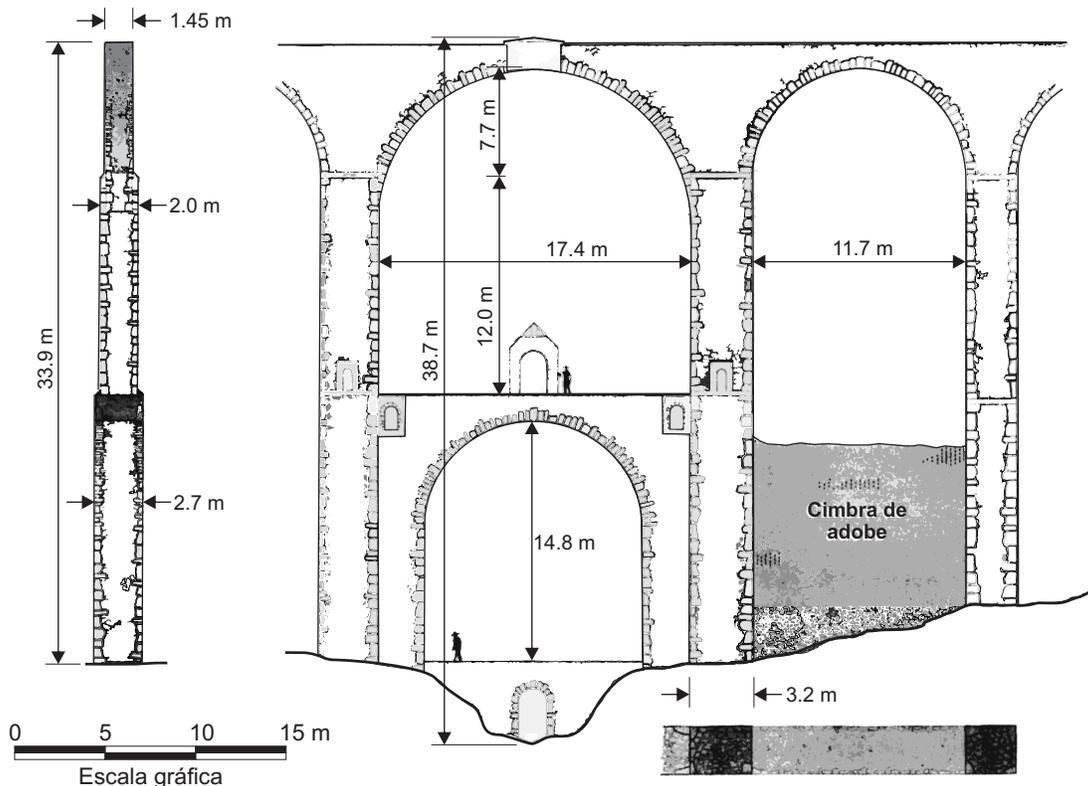


Fig. 4 Geometría de los arcos (Valdés, 2005)

La longitud total de los cuatro tramos en arcos es de solo el 3 %, de la longitud del acueducto, el resto desarrolla como un ducto subterráneo, casi a flor de tierra o con pequeños cortes.

El Laboratorio de Imagen y Análisis Dimensional (LIAD) de la Coordinación de Monumentos Históricos, INAH, realizó en 2010 el levantamiento del Acueducto con una estación Láser Escáner Automática que obtiene imágenes numéricas y fotográficas. La información electrónica que colecta este instrumento es de alta precisión. Así, para el tramo de Tepeyahualco tomó un millón de puntos, con precisión de  $\pm 6$  mm para distancias de 50 m; con esos datos se trabaja en la elaboración de planos en dos y tres dimensiones. Las Figs. 5 y 6 del Acueducto son imágenes electrónicas panorámicas de ese levantamiento, proporcionadas por el LIAD de esa Coordinación.



Fig. 5 Tramo Tepeyahualco. Imagen electrónica captada por el LIAD

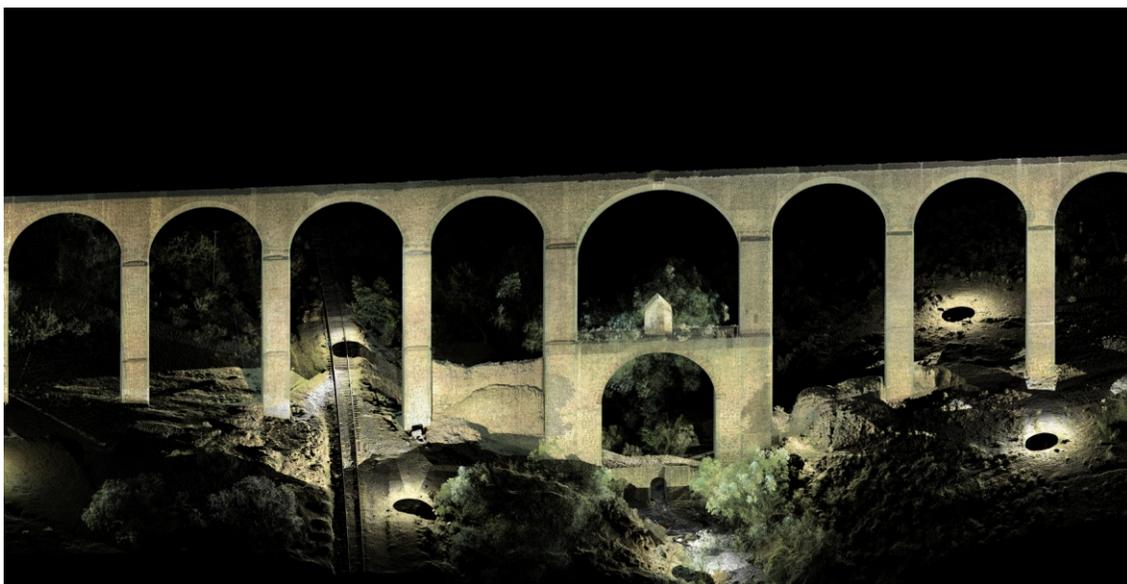


Fig. 6 Parte central del tramo Tepeyahualco. Imagen electrónica captada por el LIAD

**Desnivel y distancia entre el manantial y Otumba.** Las elevaciones que se anotan a continuación son aproximadas; el nivel al que brotan las aguas al pie del volcán Tecajete, Estado de Hidalgo se ubica a la elevación 2580 msnm; por su parte la población de Otumba, Estado de México está a la elevación 2373 msnm; en consecuencia el agua fluye los 42 km del acueducto, gracias al desnivel probable de 218 m (aunque es factible que este valor sea 250 m e incluso cercano a 300 m).

**Procedimiento de construcción.** Los materiales que se utilizaron en este acueducto de calicanto, fueron: a) La piedra fue el basalto y tezontle que abundan en la zona, se colocaron piezas labradas en las aristas de las pilastras y arcos. b) La cal se debió llevar de caleras lejanas y c) las arenas volcánicas abundantes en la cercanía reaccionan como puzolanas con la cal; esto explica la permanencia de esta obra. El transporte de todos los materiales debió requerir un colosal esfuerzo humano.

El procedimiento para conformar los arcos con dovelas en acueductos y puentes consistía, desde la época romana, colocar las dovelas sobre cimbras de madera que descansaban en cuñas de madera sobre los capiteles de las pilastras; una vez colocadas las dovelas se retiraba la cuña y se producía el reacomodo de las piezas. La técnica para los arcos y bóvedas de hormigón de cal, difiere en que la cimbra debía permanecer hasta que el hormigón alcanzara la resistencia necesaria, al retirar la cimbra también se producía una cierta pequeña deformación de reacomodo.

Es de llamar la atención que para el Acueducto del Padre Tembleque se recurrió a muros de adobe como cimbra, en vez de las tradicionales estructuras ligeras de madera; eso conlleva a imaginar dos opciones: que carecía de carpinteros diestros o bien que la madera fuera escasa. Se conservan restos de esa cimbra, que para los arcos altos se apoyó sobre una mampostería tosca. La existencia de esos enormes muros de adobe seguramente sorprendió por su audacia a quienes en ese tiempo los observaron, Fig. 1.

La fortaleza de los arcos queda demostrada con la nula influencia del paso de pesados trenes sin que se manifiesten daños; bajo un arco de la Hacienda Tecajete pasa la vía del tren a la población de Honey y bajo uno del Tepeyahualco corren las vías del tren a Ciudad Sagahún, Figs. 6 y 7.

**Cimentación de los arcos.** Se desconocen las dimensiones de la cimentación, pero lo más probable es que cumplan la antigua regla de ampliar las secciones de las pilastras en un 10 % y desplantarlas a dos varas castellanas, 1.7 m, salvo que se encontrara roca. En cuanto a la carga probable que transmiten las pilastras más altas es del orden de 320 t y el esfuerzo de unas 37 t/m<sup>2</sup>, pero si fuera el caso de que las dimensiones hubieran sido ampliadas, este valor se reducirá a 31 t/m<sup>2</sup>. Es posible que las



Fig. 7 Vías del ferrocarril a Honey en el tramo de la Hacienda Tecajete

pilastras ubicadas en las laderas estén desplantadas en tobas y las cercanas al cauce del río Papalote en el basalto que aflora; esto permite decir que la cimentación del acueducto resultó muy acertada.

**Funcionalidad hidráulica.** El caño que conduce el agua mide 36 cm y 20 de altura (González, 1992), en cuanto a la pendiente total resulta del orden de 0.52 % (218/42,000), el radio hidráulico resulta de 9.47 cm y coeficiente de rugosidad de 0.033, considerando que es una mampostería con un aplanado tosco. Conforme a la fórmula de Manning se estima que el acueducto suministraba un caudal del orden de 2,500 metros cúbicos por día. La Fig. 8 ilustra un tramo del caño y una caja de agua de una toma lateral.

**Glifos mexicas e imágenes religiosas.** Octaviano Valdez menciona que en el lado poniente de los arcos se labraron 6 nichos para alojar sendas imágenes religiosas en el arco principal y en 44 puntos se advierten grafitos mexicas (Valdez, 1960); posteriormente Gerardo Bravo Vargas menciona que son 73 los símbolos mexicas y confirma que son 6 las imágenes religiosas (Bravo, 2010); la Fig. 9 es una de esos grafitos pintado en una columna y en la Fig. 1 se pueden identificar sólo 5 de los nichos que alojaban imágenes.

**Conclusiones.** La información disponible demuestra que el desnivel de 218 m entre el manantial de Tecajete y Otumba fue suficiente para lograr la funcionalidad del acueducto; el cual suministró a los pueblos de Otumba y Zempoala, así como a las tomas laterales, unos 2,500 metros cúbicos de agua por día durante su vida útil de casi 300 años; caudal suficiente para el consumo humano y el riego agrícola. Si el mencionado desnivel fue de 300 m, el caudal aumentaría a unos 3,000 metros cúbicos por día.



Fig. 8 Una vista del caño del acueducto y de una caja de agua



Fig. 9 Glifo pintado en una pilastra

## ***Bibliografía:***

Bravo, V. G. (2010). Acueducto del Padre Tembleque. Editorial Bravo.org.mx.

González, T.I. (1992). Ingeniería Española de Ultramar (Siglos XVI–XIX). Editado por: CEHOPU, CEDEX, MOPT y Col. de Ing. de Caminos, Canales y Puertos. Madrid España.

Kubler, G. (1982). Arquitectura Mexicana del Siglo XVI. Fondo de Cultura Económica. México.

Meli, R. (2011). Los Conventos Mexicanos del Siglo XVI. UNAM, Instituto de Ingeniería. Edit. Porrúa.

PATAC. (Sin fecha). Página electrónica del Patronato Acueducto Tembleque A.C. Org. México.

Ricard, R. (2005). La Conquista Espiritual de México. Editorial JUS. La 1ª edición fue en 1947, la 2ª en 1986...la 9ª es del 2005.

Ruiz Vila A. Ma. (2005). Paradigma de la Ingeniería Hidráulica en América. Núm. 433 Ingeniería Civil. Órgano Oficial del Colegio de Ingenieros Civiles de México.

Saravia Viejo Mª.J. (1978). Don Luis de Velasco Virrey de la Nueva España 1550-1564. Consejo Superior de Investigaciones Científicas. Escuela de Estudios Hispano-Americanos.

Valdés, O. (2010). El Padre Tembleque. Editorial Jus. La 1ª edición fue en 1945, la 2ª el 1961 y la 3ª el 2010.

Vitruvio Polión, M. (1582). Los Diez Libros de Arquitectura (escrito *c.a.* 27 a.C.), Traducción de Miguel de Urrea. Alcalá de Henares, España (Disponible en la Biblioteca J.M. Lafragua, Benemérita Universidad de Puebla).