

# Primeros usos del concreto en México: primer túnel de Tequixquiac

HORACIO RAMÍREZ DE ALBA\*

## *First uses of concrete in Mexico: first tunnel of Tequixquiac*

**Abstract.** *The first uses of reinforced concrete in Mexico date from the beginning of this century, some examples are:*

*1901 Foundation for a commercial building at the corner of Arts and Paris streets in Mexico City.*

*1903 Foreign Ministry building in Mexico City.*

*1906 Mexico City water supply system.*

*Severage years earlier, however, unreinforced concrete was used successfully in the Mexico City Drainage System 1865-1900, and particularly in one of the main components of this system: the first Tequixquiac tunnel.*

*The Mexico City drainage problem is discussed in this paper and the historical sequence to solve it is outlined. Data related with the design and construction of the tunnel are presented.*

## Introducción

Las obras civiles realizadas en épocas pasadas tienen interés porque forman parte de la historia de la tecnología, además de representar información que puede tener aplicación en los estudios y desarrollos actuales (Ramírez, 1991).

En México las primeras obras de concreto reforzado se dieron a principios del siglo presente, cuando el contraalmirante Ortíz Monasterio estableció en 1901 la primera empresa para explotar el betón armado según patente del ingeniero francés Hennebique. La primera obra de concreto reforzado

en ese año fue una cimentación de un edificio para comercio situado en la esquina de las calles Artes y París, en la ciudad de México. El primer edificio de concreto reforzado en esa ciudad fue construido en 1903, como una ampliación del edificio de la Secretaría de Relaciones Exteriores, pero que fue demolido en 1964 para dar paso a las obras de ampliación del Paseo de la Reforma. La estructura estaba en perfectas condiciones (Esqueda, 1989).

Destaca también la construcción del sistema de agua potable para la ciudad de México, que consistió en cuatro obras de captación en Xochimilco, tres plantas de bombeo y cuatro tanques de almacenamiento y regulación -conocidos como Tanques de Dolores- que aún se encuentran en uso. Esta obra se debe al ingeniero Manuel Marroquín y Rivera.

Antes de estos primeros usos del concreto reforzado, el concreto o betón (sin refuerzo metálico) tuvo importante aplicación en una obra pública de primera magnitud. Se trata del primer túnel de Tequixquiac, en donde el ingeniero Luis Espinosa diseñó y construyó un túnel de un poco más de 10 kilómetros de longitud, con una sección de 13.7 m<sup>2</sup> de área, revestida ésta en su parte inferior con dovelas hechas de concreto de cemento Portland, arena y grava menuda o granzón.

En este trabajo se describen los antecedentes de esta obra, que tiene marco en el problema de desagüe del Valle de México. Se aportan datos descriptivos y técnicos con el objeto de ofrecer una idea general de la magnitud e importancia de este caso.

\* *Director de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Autónoma del Estado de México.*

## I. Antecedentes

El llamado Valle de México forma una cuenca endorreica -es decir cerrada-; la última salida natural se supone que se obstruyó en el pleistoceno con la aparición de los volcanes Tenayos por la zona de Amecameca.

Esta cuenca tiene una extensión de 9,600 Km<sup>2</sup>, con 40% en forma de llanuras y 60% en forma de montañas y antiguos conos volcánicos. La altura sobre el nivel medio del mar es de 2,250 m en la llanura, mientras que los bordes se encuentran entre un mínimo de 2,330 m y un máximo de 5,452, correspondiente al Pico de Anáhuac del volcán Popocatepetl. En la antigüedad la llanura formó un gran lago que por acción del hombre fue disminuyendo y dividiéndose en otros menores. Se estima que en la época prehispánica los lagos tenían una superficie de 1,575 Km<sup>2</sup>; en 1861 esa extensión se había reducido a 230 Km<sup>2</sup>, y en 1980 a sólo 13 Km<sup>2</sup>.

Los problemas que representaron las características físicas de la región en una zona de indudable belleza -pero no apta para albergar grandes asentamientos humanos- se dejaron sentir desde la época prehispánica y persisten en nuestros días; esos problemas consistían en inundaciones; afectación a la salud, la producción de alimentos, el suministro de agua y el transporte; hundimientos del terreno, amplificación de las ondas sísmicas y contaminación. Sin embargo, la búsqueda de soluciones a estos problemas ha dado lugar al desarrollo de la tecnología y a contribuciones importantes de la ingeniería civil, baste mencionar el sistema de chinampas para la producción agrícola y más recientemente los sistemas de cimentación compensada, los pilotes de control y las técnicas para perforación de túneles en arcillas blandas (metro y drenaje profundo).

Con referencia solamente a las inundaciones se puede mencionar, en primer lugar, la que ocurrió en 1449 con Moctezuma I; esa inundación provocó grandes daños en la ciudad y, como consecuencia, la construcción del llamado dique de Nezahualcóyotl, que servía para prevenir inundaciones y para dividir los lagos de Texcoco y México, aquél con aguas salobres y éste con agua apta para la necesaria agricultura de chinampas. El dique de 16 Km de longitud y 20 m de ancho estaba hecho de piedra y arcilla confinada con madera rolliza. En 1489, bajo Ahuizotl, se presentó una

gran calamidad, “como ocho temblores de tierra” (Anales de Tlaltelolco), que destruyó la mayoría de las construcciones de la ciudad; esa inundación fue inducida por la mala conducción de agua desde los manantiales de Huitzilopochco, que pretendía llevar agua para el riego. El mismo Ahuizotl perdió la vida a consecuencia de los estragos de la inundación.

A su tiempo, los españoles pronto se dieron cuenta de que la destrucción de las obras prehispánicas que habían perpetuado durante la guerra de conquista acarrearían serias inundaciones; en forma apresurada se dieron a la tarea de rehabilitarlas, así como a construir obras nuevas con las mismas técnicas de los vencidos, como el albaradón de San Lázaro, de 10 Km de longitud, que se emprendió en 1555.

Desde ese año se inició la consideración de realizar una salida artificial que sirviera para desecar los lagos y controlar las inundaciones, así como para saneamiento. Aunque a lo largo de los años hubo proyectos por Chalco hacia Cuernavaca y otros sitios, los que parecieron más viables fueron las Quebradas de Huehuetoca, con un desnivel máximo de 80 metros respecto de la planicie, y los lomeríos de Tequiquiac, con desnivel de 100 m aproximadamente. En 1555 Francisco Gudiel presentó el primer proyecto de desagüe por Huehuetoca.

En 1607, después de una serie de inundaciones, Enrico Martínez emprendió la obra de desagüe siguiendo las ideas de Gudiel. Construyó un tajo por Huehuetoca de 6,700 m y 20 de profundidad, seguido por un socavón (túnel) de 6,600 metros y 10.5 m<sup>2</sup> de área en su sección transversal. Construyó esta obra en el brevísimo tiempo de once meses, utilizando 42 lumbreras para la perforación del túnel. Si bien esta obra logró desviar el caudal de los ríos Cuautitlán y de la Sierra de Pachuca fuera de la Laguna de Zumpango, no logró servir de drenaje de las aguas negras y para desecar los lagos según las expectativas del gobierno virreinal.

En 1626 el túnel fue mandado cerrar con el pretexto de los altos costos de conservación, acto que tendría negras consecuencias años más tarde, ya que en los lluviosos años de 1628-1629 se presentó una inundación de grandes proporciones. Para dar idea de este desastre, se transcribe un párrafo de una carta dirigida a la Corona de España por el arzobispo Manzo y Zúñiga en octubre de 1629:

“Que murieron 30,000 indios y de 20,000 familias españolas, no le habían quedado a México 400 vecinos, quedando aquella parte como un cadáver muerto”.<sup>1</sup>

1. *Memoria del drenaje profundo*. (1971). Departamento del Distrito Federal.

En 1630, Simón Méndez, humilde trabajador de Michoacán, propuso el primer sistema para el drenaje del valle, que consistía en un gran canal por el lago de Texcoco y un túnel de 13 Km por Tequixquiac, que desembocaba en el río Salado. Se llegó a trabajar en cuatro de las 28 lumbreras del proyecto, pero pronto se abandonaron los trabajos por falta de recursos.

En lugar de continuar ese proyecto, en 1650 se decidió trabajar en Huehuetoca, transformando el socavón de Enrico Martínez en tajo abierto. La obra de 16 Km de longitud y profundidad máxima de 80 metros, consumió 150 años de trabajos, porque se removieron 20 millones de metros cúbicos de material, lo que costó, según algunos autores, hasta 200,000 vidas (Rubio, 1983). La descomunal obra que sigue sirviendo como drenaje importante de lo que fue el río Cuautitlán, ahora transformado en Interceptor del Poniente, alivió a la ciudad de las aguas del poniente y parte de las del norte, pero no para drenar las aguas negras. El nivel de la ciudad de México es más bajo que el del lago de Zumpango.

Cabe mencionar que esta obra sigue funcionando como parte del sistema de drenaje de la ciudad de México; la obra en sí tiene una apariencia de barranca natural y es común que la gente, al verla, piense que es tal, aunque olvida la gran aportación de trabajo y vidas que hicieron aquellos trabajadores.

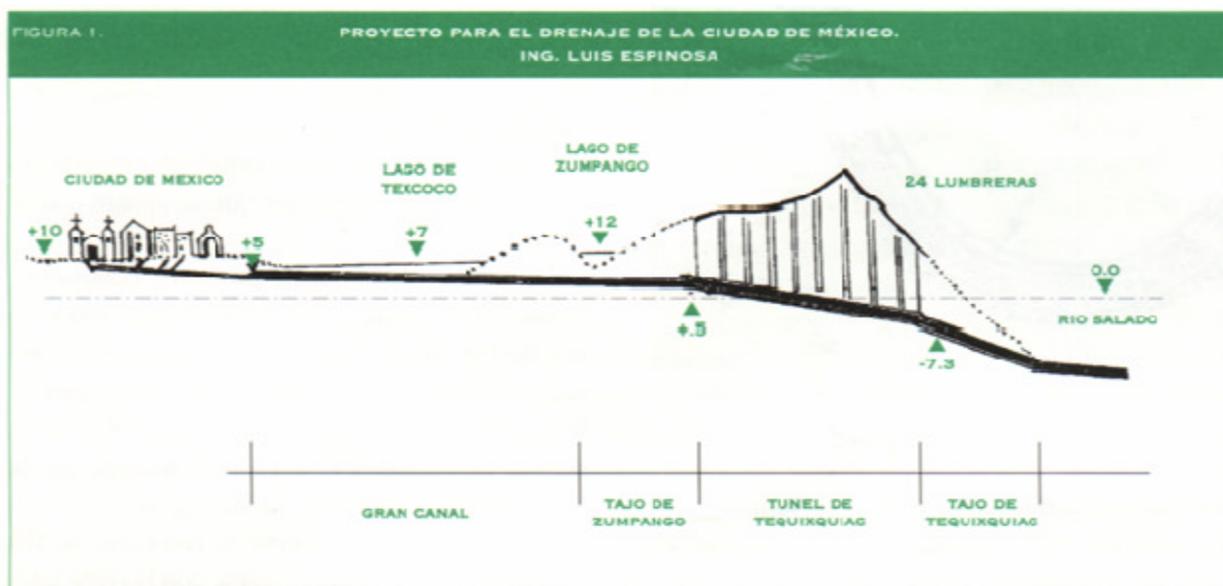
En 1774, el matemático y jurisconsulto Velázquez de León perfeccionó el proyecto de Simón Méndez; en 1803, Humbolt, en su visita a la ciudad de México, recomendó esa idea del gran canal por Texcoco y el túnel por Tequixquiac. En 1848 se presentó el primer proyecto global que comprendía el gran canal de

desagüe, el tajo de Zumpango, el túnel y el tajo de Tequixquiac. Este proyecto fue realizado por Francisco de Garay y M. L. Smith, este último de las fuerzas de ocupación de Estados Unidos del Norte.

No fue hasta 1865, bajo el imperio de Maximiliano, después de nuevas inundaciones, que las obras se reanudaron: se llegaron a perforar 700 m en las 24 lumbreras proyectadas. El primer gobierno de Juárez decidió continuar las obras, y logró concluir la parte terminal del proyecto; el tajo de Tequixquiac, de 3 Km de longitud, y la profundización de algunas lumbreras. Es importante recordar que fue en la obra del tajo que se localizó la importante pieza arqueológica llamada Sacro de Tequixquiac, que motivó estudios importantes sobre la antigüedad del hombre en la zona. Sin embargo, el alto costo de las obras y las dificultades que causó el agua freática en la perforación del túnel no permitieron avances significativos.

No fue hasta 1877 que el ingeniero Luis Espinosa mejoró el proyecto, tecnificando el diseño y la construcción. Sin embargo, a la vista de tantos fracasos anteriores, el gobierno decidió, antes de reanudar las obras, reexaminar otros proyectos: en particular, se compararon dos proyectos por Huehuetoca y el del ingeniero Espinosa. A pesar de que uno de los proyectos por Huehuetoca resultaba más económico que el del ingeniero, la decisión fue por este último, en razón de que se juzgó conveniente tener la obra ya hecha del tajo de Nochistango, como complemento a la obra por construir, ya que sería muy peligroso perder las dos salidas al mismo tiempo en caso de derrumbes.

En la figura 1 se presenta esquemáticamente el proyecto para el drenaje de la ciudad de México, según la propuesta del ingeniero Luis Espinosa.



## II. La magna obra de Tequixquiac

En 1889 se decidió concesionar la obra a compañías inglesas; las más importantes fueron: Mexican Prospecting y Read and Cambell, que continuaron la obra del túnel de Tequixquiac, consistente en aproximadamente 1/3 de las lumbreras y 4/5 del túnel propiamente dicho. A pesar de la maquinaria más moderna que importaron para la obra, no pudieron concluir y antes de dos años se declararon en quiebra. Un párrafo del informe del presidente de una de las compañías permite tener idea de las causas de ese fracaso:

“Estas conclusiones adversas reconocen todas el mismo origen: el agua. El agua que ha hecho y hace necesario un bombeo general e incesante; el agua que en la región de Zumpango hace hoy insuficientes las poderosas instalaciones nuevas; el agua, por último, que no permite hacer un cálculo acertado del costo de la obra en lo porvenir”.<sup>2</sup>

Después de un régimen provisional (octubre 1891-febrero 1892), la obra se encargó nuevamente al ingeniero Luis Espinosa. La fase final constituye un indudable mérito de la técnica mexicana -combinada con la experiencia extranjera- y en particular del ingeniero Espinosa, cuyo talento

y perseverancia se vieron compensados con el éxito, al cabo de tres décadas de esfuerzos, contrariedades y accidentes.

El ingeniero Espinosa basó su éxito en un método constructivo diferente al que habían recurrido los ingleses: en lugar de pretender desaguar totalmente los tramos del túnel para seguir avanzando, construyó galenas provisionales para drenar hacia sitios estratégicos; mientras las bombas de vapor hacían su trabajo, se podía seguir trabajando en varios frentes del túnel. Otro acierto importante fue el de la construcción de dos grandes hornos, uno de cal y otro de ladrillos (tabiques), materiales que se usaron para el junteo y la construcción de la bóveda, respectivamente, y que de no haberse fabricado cerca de la obra la hubieran encarecido considerablemente. Los restos de estos grandes hornos aún se pueden admirar cerca de la boca y la salida del túnel. El revestimiento de la cubeta del túnel (parte inferior por donde debe pasar el agua) fue hecho con “piedras artificiales”, utilizando el nuevo material: cemento Portiand. La primera patente para la fabricación del cemento Porüand fue otorgada en 1824 a Joseph Aspdin, en Inglaterra; sin embargo, su uso en México comenzó a finales del siglo XIX.

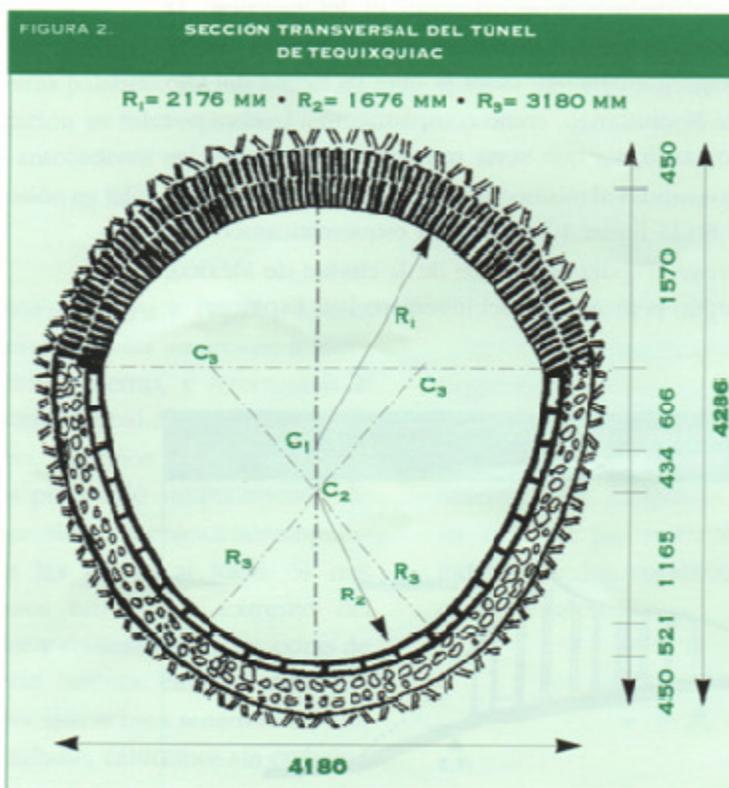
Las dovelas de concreto fueron fabricadas con una parte de cemento por tres de arena y una de gránzón, las primeras hiladas con dos partes de arena en lugar de tres. Se utilizaron moldes metálicos con la curvatura adecuada de la sección del túnel por construir y se apisonó el material a mano, dentro de los moldes. Una vez compactado el material, se procedió a su desmoldeo y curado. Las dovelas se juntaban dentro del túnel siguiendo guías de hilo (reventones) y utilizando un material de junteo especial, mortero añadido con polvo de tezontle.

## III. Aspectos técnicos

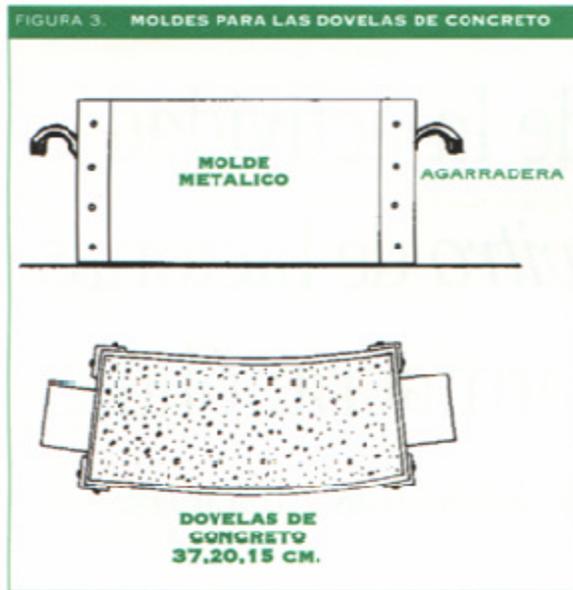
Además de los aspectos constructivos innovadores ya comentados, esta obra cuenta con atributos técnicos interesantes como los que se anotan a continuación:

1. Sección transversal de geometría compuesta, formada por cuatro sectores de círculo, uno inferior de 168 cm de radio y 243 cm de cuerda, otro superior de 218 cm de radio y 418 cm de cuerda:

los centros de estos dos círculos están sobre el eje vertical distanciados 43 cm, de tal manera que la altura libre es de 429 cm. La sección se cierra con dos sectores de círculo laterales, con radio de 318 cm formando la misma tangente con la parte infe-



2. Memoria histórica, técnica y administrativa de las obras del desagüe del Valle de México, 1442-1900. (1902). Tipografía de la Oficina Impresora de Estampillas



rior y con centro en la cuerda de la parte superior que forma la bóveda, a 109 cm a cada lado del eje vertical. Esta forma fue diseñada por el ingeniero Espinosa para obtener un gasto de proyecto de 17.5 m-Vseg con la menor cantidad de materiales posible. Ver figura 2.

2. Combinación de materiales: la parte de la cubeta fue hecha con un respaldo de manipostería de piedra natural juntada con mortero de cal y arena, que sirve de apoyo al recubrimiento de dovelas de concreto juntadas con mortero de cemento y arena; el cemento para la cubeta se especificó de fraguado rápido. La bóveda es de tabique prensado y cocido en horno de producción continua y juntado con mortero de cal y arena.

En la figura 3 se representa el molde metálico utilizado para la fabricación de las dovelas de concreto.

3. El mortero para junteo fue agregado con piedra volcánica andesítica molida (tezontle) que funcionó como puzolana para aumentar la durabilidad y la resistencia a los agentes químicos presentes en las aguas negras.

4. La calidad de los materiales se controló en laboratorio (Escuela de Minas); para el cemento Portland se pedía un mínimo de resistencia a tensión de 300 libras por pulgada cuadrada en probetas ensayadas después de siete días en agua. Las dovelas de concreto deberían exhibir por lo menos 120 Kg/cm<sup>2</sup> sobre el área transversal total, y el tabique debería tener una resistencia de 100 Kg/cm<sup>2</sup> en probetas cúbicas labradas, con 5 cm por lado.

### Comentarios finales

En este trabajo se trató de destacar una de las obras de ingeniería más relevantes que se han emprendido en el país, así como destacar el papel del

ingeniero Luis Espinosa en la realización de la obra, tanto en el aspecto técnico como en el administrativo.

Una cualidad que debe destacarse es que ésta es una de las primeras obras públicas, si no es que la primera, en la que se utilizó el concreto en grandes cantidades, con base en la tecnología disponible más avanzada.

La cantidad de dovelas utilizadas en el túnel fue de 1'100,000, lo que permite estimar que se fabricó un volumen de concreto de 12,500 m<sup>3</sup>, con un consumo aproximado de 7,000 toneladas de cemento Portland.

Finalmente, cabe destacar que el túnel sigue estando en uso después de casi 100 años de servicio (aunque el sistema de drenaje fue inaugurado en 1900, el agua corría por el túnel desde su terminación en 1895). Por su explosión demográfica (en 1900 no llegaba al medio millón de habitantes) y por los hundimientos del subsuelo, la ciudad de México ha seguido demandando grandes obras; respecto al drenaje, puede mencionarse un segundo túnel por Tequixquiac (1937-1946), la ampliación del gran canal, la instalación de 29 plantas de bombeo (1966) y recientemente la colosal obra del drenaje profundo, cuyo principal componente es el emisor central, túnel de 50 Km de longitud con una sección transversal circular de 6.5 metros de diámetro. •

### BIBLIOGRAFÍA

- Esqueda Huidobro, H. (1989). "El concreto en la historia", en *Construcción y Tecnología*, IMCYC, No. 16, Vol. II, septiembre.
- Memoria del drenaje profundo*. (1971). Departamento del Distrito Federal. México.
- Memoria histórica, técnica y administrativa de las obras del desagüe del Valle de México, 1442-1900*. (1902). Tipografía de la Oficina Impresora de Estampillas.
- Ramírez de Alba, H. (1991). *La construcción en el Estado de México: estudio técnico con referencia histórica*. El Colegio Mexiquense. Toluca.
- Rubio Mañe, J. I. (1983). *El virreinato IV, obras públicas y educación universitaria*. Fondo de Cultura Económica. México.