

Ingeniería en México en el siglo XVI

Parte I

Tarsicio Pastrana Salcedo*

Es necesario entender a la ingeniería virreinal como una técnica compuesta que tomó sus elementos complementarios de las dos que la originan: la tecnología americana previa a la llegada de los españoles y la tecnología europea cuyo punto más depurado en su desarrollo histórico posterior a la época clásica se estaba viviendo en Europa en el marco del renacimiento, uno de los sitios europeos donde más desarrollo tuvo esta tecnología fue en España durante el siglo XVI que acumula y difunde una tradición proveniente de la época romana y complementada por la época árabe.¹



Imagen códice florentino libro XII.

La ingeniería en el siglo XVI en Europa era un instrumento de control político y militar, la denominación de ingeniero era para aquellas personas que lograban utilizar su ingenio en la construcción y diseño de obras que ayudaban al Estado en sus fines y como consecuencia secundaria a las personas que habitaban una región mejorada por dichas obras. El calificativo de ingeniero era utilizado para denominar a estos personajes letrados provenientes de diversos universos formativos que se encontraban viajando o establecidos en algún lugar diseñando y proyectando, es importante mencionar que parte de la penetración de los grandes estados en las regiones de conquista se apoyaban en las obras de ingeniería, es decir, que el ámbito de formación y desarrollo profesional de los ingenieros fue, en primera instancia, el ámbito militar.

Dentro de este ámbito militar encontramos cambios en el modo de aplicar la ingeniería, el concepto antiguo de la ingeniería abarcaba diversas ramas, ya he mencionado la militar como eje principal de aplicación, además de ésta existen otras áreas, una de ellas, sobre la que girará este artículo es la ingeniería y la tecnología hidráulica, con ésta como eje, expondremos el proceso de penetración de la ingeniería en América y cómo se va consolidando para dejar de ser un calificativo y comenzar su camino hacia la especialización, ámbito en el cual se cambia el calificativo de ingeniero como aplicador

¹ Los pueblos que confluyen en la región que ahora es España dejaron parte de su tradición de ingeniería, cuyos principales componentes son la tecnología hidráulica romana y la árabe, esta gran mezcla, aderezada con el desarrollo humano del renacimiento, es la que confluye en América para provocar un nuevo mestizaje con las técnicas existentes.

*Doctor en Arquitectura, profesor de la Sección de Estudios de Posgrado e Investigación de la ESIA Tecamachalco.
taarpaa@msn.com

de la ciencia y la tecnología en general por el de ingeniero especializado, el que va a la academia a estudiar una rama de la ingeniería y la aplica, es decir, el siglo XVI es la base del cambio del calificativo a la definición.

Es la tecnología hidráulica hispana en el siglo XVI una de las más complejas y completas, la cual toma sus elementos de composición de varias culturas hidráulicas de Europa y Asia que dominaban perfectamente sus entornos, las aplicaciones hidráulicas tienen principios comunes, que parten de las propias leyes físicas de manejo y comportamiento del agua, adicional a esto, en cada región y dependiendo de las características hidráulicas de las zonas, los conocimientos se diversifican y se especializan dependiendo de las necesidades particulares.

Los árabes eran excelentes ingenieros hidráulicos por ser el agua un elemento escaso en sus lugares de origen, también la ingeniería hidráulica romana se aplicaba y adaptaba como ninguna otra a las necesidades que presentaba, para los romanos no existía la adaptación de sus técnicas al medio, era todo lo contrario, ellos creían en la modificación del medio para adaptarlo a sus necesidades.

Finalmente, otro aspecto de vital importancia es el desarrollo de la hidráulica para aplicaciones preindustriales, la España del siglo XVI representa el estado más moderno de Europa, en plena expansión requería de aplicaciones tecnológicas y

de ingeniería que fomentara la producción, el intercambio y el comercio, estas técnicas también eran un excelente complemento de la tecnología ya milenaria que componía la hidráulica española; como ejemplo, uno de los tratados más importantes de la Europa renacentista en lo concerniente a tecnología hidráulica es el de los 21 libros de los ingenios y las máquinas, escrito en España.

Por otra parte, las necesidades y el escenario de aplicación americanos eran un tanto diferentes, como eje principal estaban las necesidades de riego y los suministros de agua, que en algunos casos se vuelven particularmente difíciles como en la cuenca mexicana en la que además se aumenta al factor de control de la misma, en estos campos de control hidráulico las culturas prehispánicas aventajaban a las europeas, aun pensando en el caso de los países bajos cuyos logros hidráulicos dependían básicamente de la defensa del país ubicado por debajo del nivel del mar.

En la cuenca de México las culturas prehispánicas no pretendían deshacerse de los lagos como después lo harían los europeos, su subsistencia estaba basada en la convivencia con ellos, sus ejes de aplicación de la ingeniería en la zona eran dos: la defensa a las inundaciones y las necesidades de riego, con lo que se crean los sistemas de diques, las calzadas, los ductos de agua para suministrarla al interior de la ciudad, las chinampas para ganar terreno al agua y sobre todo se busca la



Chinampas en Xochimilco, Mexico, 1920s-1930s. Imagen: www.smith.edu/.../feast_your_eyes/chinampas.jpg

diversificación de los elementos físicos en más de una función, las calzadas eran además de elementos de control, sistemas de comunicación, las chinampas permitieron hacer crecer la ciudad y aumentar el número de cosechas al año.

Las culturas prehispánicas y las europeas se complementan al momento de la conquista y principalmente en la época de transformación del territorio, podemos decir que la ingeniería virreinal es totalmente complementaria de las virtudes de una con las carencias de la otra; para hablar de esta gestación y desarrollo tenemos que iniciar con los primeros contactos entre ambas ingenierías, esto sucede durante la conquista del territorio donde llegan los primeros ingenieros, en esta etapa entendemos al ingeniero no como el individuo que estudia la profesión, más bien el ingeniero de esa época, y principalmente los que venían con Cortés, eran personas que aplicaban conocimientos heredados y acumulados de generación en generación, sin importar el origen de sus conocimientos principales, es decir, si son académicos o empíricos.

Hasta ahora hemos hablado del panorama de la técnica y la ingeniería hidráulica en ambos mundos antes de la conquista, cuya particularidad era estar adaptados de manera brillante a sus respectivos contextos históricos y culturales, que se obtiene de años de aplicación con técnicas que se practicaron por medio del ensayo y el error, entendiendo el costo que tenían los errores en el caso

de que la ingeniería fallara, en la época de Ahuizotl se intenta traer agua de Churubusco a la ciudad de México, se construye el canal y sin un análisis previo se abre a la circulación de agua, cuyo caudal resultó tan elevado que inunda la ciudad provocando daños y descontento.²

También hemos mencionado que los imperios, y principalmente los que se encuentran en expansión, se apoyan en las aplicaciones de tecnología para hacer válidos sus procesos de crecimiento, las dos tecnologías que gestan la nueva provienen de imperios con similitudes y diferencias, los puntos de comparación de ambos podemos englobarlos como sigue: tanto el mexica como el hispano eran imperios jóvenes en desarrollo, el mexica con un poco más de duración, el hispano estaba en un periodo de ensayo y aplicación de la tecnología dentro del ambiente de unificación y reconquista, todo esto en el marco humanista en el que se justificaba su idea de expansión.

Recordemos que el hispano es el imperio que mejor capitaliza las ideas derivadas del renacimiento, su expansión era reciente y sus territorios nuevos eran casi vírgenes, a diferencia del mexica que ya dominaba grandes extensiones y tenía que mantener un sistema de control sobre esos territorios, en ambos casos sus periodos de expansión y las

² Pineda Mendoza Raquel, *Origen vida y muerte del acueducto de Santa Fe*, Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Investigaciones Históricas, México 2000, pág. 25.



Monumento a Alonso García Bravo en la plaza del mismo nombre en el barrio de La Merced, Centro Histórico de la Ciudad de México. Foto: www.flickr.com/photos/etowerszonephotos/334865322.

necesidades de aplicación generan excelentes ingenieros, esta adaptación a su entorno los hacía dominadores de todas esas técnicas que tenían a su servicio.

De estos puntos podemos darnos cuenta que ambos sistemas tecnológicos servían perfectamente a sus usuarios para los fines que ellos requerían, dentro de sus respectivos ámbitos la tecnología hidráulica hispánica y la mexicana controlaban los aspectos que necesitaban controlar, esto era notorio como ya se vio con el conocimiento prehispánico de los habitantes de la cuenca lacustre, tecnología desconocida por los hispanos ya que no requerían del uso de esas soluciones por lo que no tuvieron oportunidad de desarrollarlas, pero al llegar a la cuenca y adaptarse a las necesidades que generaron el desarrollo de esas técnicas, tuvieron que incorporarlas para resolver las mismas problemáticas.

Lo mismo sucedió en el sentido opuesto, los habitantes de la cuenca vivían de los lagos, no necesitaron más hasta que los nuevos habitantes de la tierra demandaron aplicaciones que tuvieron que ser incorporadas. Este proceso de adaptabilidad mutuo debió de ser mucho más difícil de lo que se ha descrito en el último párrafo, primero recordando que la ingeniería es una aplicación tecnológica y que esto la reduce a un aspecto puramente pragmático, tenemos que ver que lo que generan estas aplicaciones son las necesidades creadas divididas en tres: las que tenían las culturas prehispánicas, las propias de los españoles y, finalmente, las generadas en el proceso de la conquista. La técnica y la ingeniería hidráulica virreinal son descendientes de la hispánica y la prehispánica, con sus propias soluciones, sus modos de trabajo y sus sistemas de gestión, no podemos negar que cada una aportó a la nueva gran parte de su ser y que esto es lo que la volvió tan pródiga en aplicaciones, que si bien venían de sus predecesoras, eran diferentes con sus tintes y matices propios.

El complemento se basó en las carencias de una y otra que de la misma manera fueron mutuamente subsanadas, como en un rompecabezas las piezas se adaptaban para lograr las aplicaciones necesarias, estos aspectos cubrieron diversos rubros, desde la planeación, organización del trabajo, legislación, construcción, operación, materiales, técnicas, etcétera.

Primeras aplicaciones de ingeniería hidráulica en América con fines militares

El nacimiento de la ingeniería virreinal derivada de las necesidades de aplicación tecnológica empezó en el mismo momento de la conquista, traída de la mano del ejército conquistador. La ingeniería acompaña a los ejércitos y los ayuda en su paso sobre los territorios a conquistar, el avance técnico

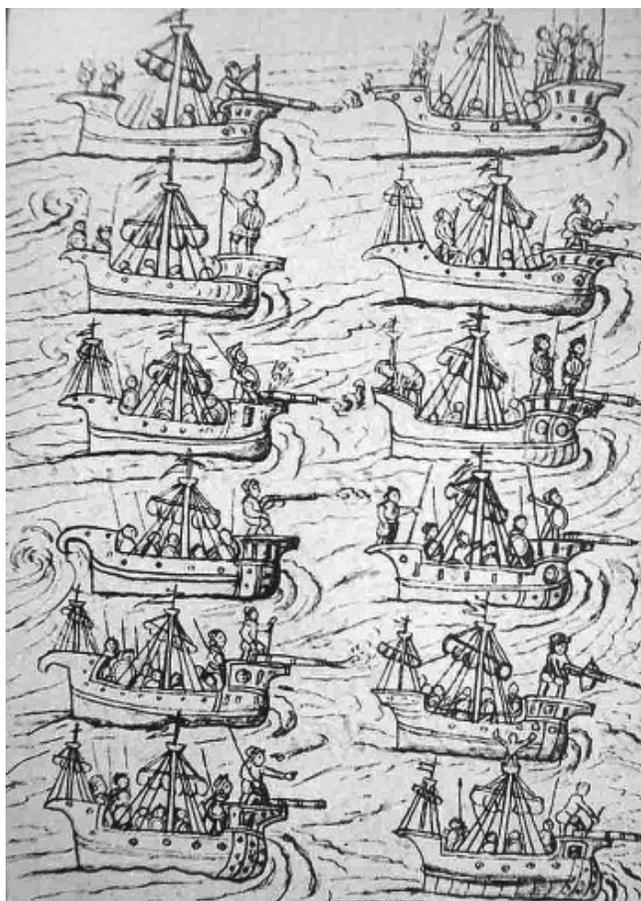
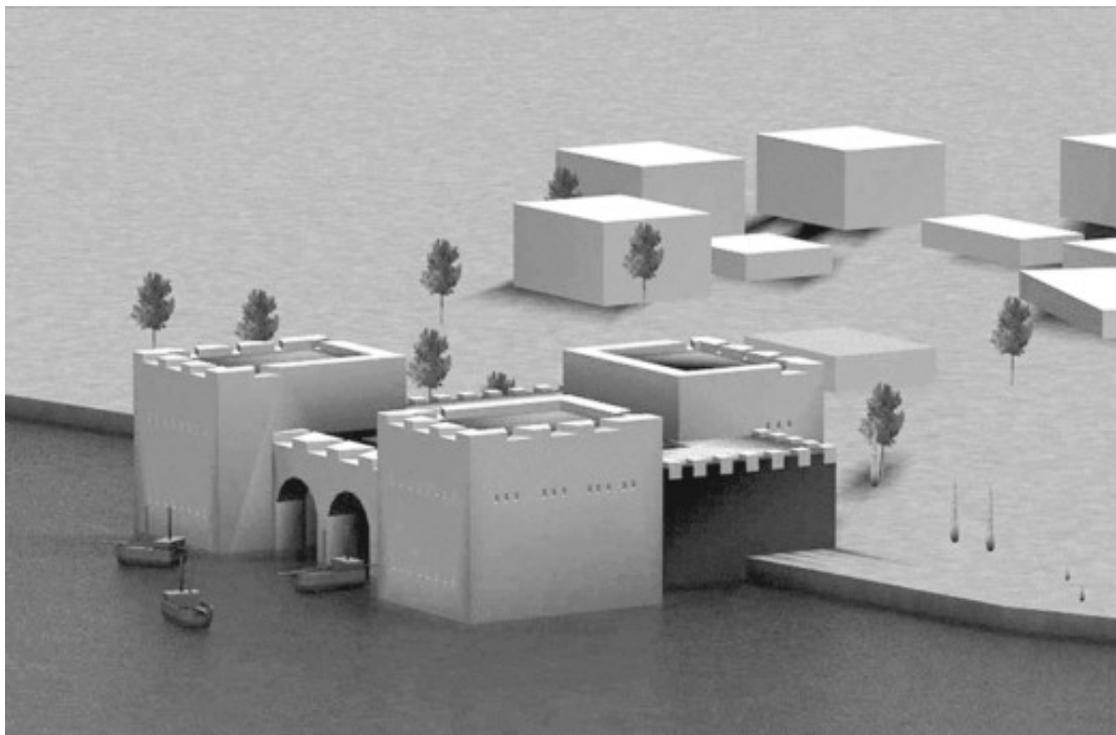


Imagen Códice Florentino libro XII.

de una cultura se observa en sus ingenieros que adquieren una importancia tal que sus errores pueden costar batallas y guerras. El grado de complejidad tecnológico se refleja en la cantidad de conocimientos que los ingenieros tienen para aplicar, a menor cúmulo tecnológico menores soluciones y viceversa, bajo estas aseveraciones podemos mencionar que el ámbito militar era el semillero de innovaciones técnicas que después eran transportadas a la vida común,³ la ingeniería hidráulica no fue la excepción, aunque sus principales aplicaciones son para tiempos de paz, en el caso de la conquista de México y su entorno lacustre los ingenieros hidráulicos fueron de gran utilidad.

Los primeros ingenieros llegan con Hernán Cortés, hombres sin esa actividad como modo de subsistir pero con los conocimientos necesarios para desarrollar obras de ingeniería temporales y después permanentes, el ejército conquistador era un ejército de hombres cuya primera actividad no era la de ser soldados, la mayoría del cuerpo del

³ La milicia desarrolla tecnologías que después de un tiempo son utilizadas en objetos de uso común. Esta situación se presenta todavía en nuestros días, principalmente en países con tradición militar como en Estados Unidos donde los presupuestos asignados suelen ser más altos que en otros países.



Reconstrucción virtual de las ataranzanas de Cortés, por el rumbo de San Lázaro. Imagen Tarsicio Pastrana.

ejército desempeñaba otra actividad antes de embarcarse en busca de hacer fortuna y mejorar su estilo de vida, es evidente que de tener en su tierra de origen prosperidad y estabilidad no hubieran tenido la necesidad de participar en una empresa tan incierta.

Entre ellos había técnicos de los que Cortés hecho mano en los momentos precisos; en el ejército español y al igual que ha sucedido en otros ejércitos a través de la historia, se aplican los conocimientos necesarios para lograr sus objetivos, en esto también va implícito algo que motivará la aplicación de los aspectos tecnológicos como una justificación de la dominación, se debe de sacar de su modo de vida idólatrico a todos estos pueblos, esto incluye rediseñar los modos de vida y traer las ventajas utilitarias que pueden generar las aplicaciones tecnológicas, sobre todo en la hidráulica en donde el agua es aspecto vital pero también cubre necesidades diversas. El ingeniero franciscano, el padre Tembleque, constructor del acueducto de Zempoala decía: *a evangelizar por el agua, ya que sólo un pueblo saludable puede comprender y amar a Dios.*⁴

La mejora de la vida por medio de la tecnología y la religión verdadera será un justificante muy fuerte a la conquista y ocupación. Las bulas Alejandrinas donan los territorios descubiertos y por descubrir a los reyes de Castilla y León, el dominio sobre cada una de las tierras e islas ya citadas, así las desconocidas como las hasta ahora descubiertas por vuestros enviados y las que se descubran en adelante, que bajo el dominio de otros

*señores cristianos no estén constituidas en el tiempo presente.*⁵

El papa también asignó, por este breve, a Castilla y León el monopolio del comercio con las nuevas tierras, prohibiendo a todos los cristianos navegar a ellas sin licencia de los Reyes Católicos, bajo pena de excomunión. En contrapartida, les impuso a los reyes la obligación de enviar misioneros para convertir a las poblaciones descubiertas a la fe católica.

Paulino Castañeda menciona en su documento que las donaciones están condicionadas a dos aspectos fundamentales, el primero es que los nuevos dominios no estén bajo dominio de ningún príncipe cristiano y que se envíen misioneros para llevar la religión verdadera a ellos, bajo estas dos premisas se justifica el avance de los reyes de Castilla y León.⁶

Al igual que otros casos analizados, un ejército de conquista deja su huella con sus primeras obras de ingeniería, que son presagio de lo que vendrá en tiempos de paz, las diferencias son dos, la premura y el objetivo, mientras que las primeras obras sirven para el control y el avance así como la con-

⁴ González Lobo, Carlos, *La obra de Fray Francisco de Tembleque en la región de Zempoala-Ozumba, El acueducto y los arcos de Tepeyahualco en Bitácora arquitectura No 12*, Facultad de Arquitectura UNAM México 2004, pp. 45-53.

⁵ Castañeda Delgado, Paulino, *La teocracia pontifical en las controversias sobre el Nuevo Mundo, Serie C. Estudios Históricos Núm. 59*, UNAM Instituto de Investigaciones Jurídicas, México 1996, pp. 322-356.

⁶ *Ibid.* pp. 322-356.

solidación del ejército, las otras, subsanados los aspectos ya descritos, se dedican a adaptar el entorno a las nuevas necesidades, en el caso de México es éste el periodo de mezcla inicial, nace de manera incipiente la tecnología mestiza que de igual modo se aplicará para transformar el entorno para nuevos y antiguos pobladores. Estos primeros años que suceden entre las aplicaciones militares y los primeros trabajos de construcción y consolidación dan origen a la tecnología hidráulica virreinal, conjunto de aplicaciones que tienen un sustento de técnicas tanto hispanas como prehispánicas y que a lo largo de todo el virreinato no deja de evolucionar y transformarse.

En este periodo de gestación, las primeras obras de ingeniería en general y en particular de la ingeniería hidráulica, se llevaron a cabo bajo premisas de orden militar, por ejemplo: la construcción de los bergantines, la destrucción de los diques y acueductos y su posterior rehabilitación, y la construcción y demolición de puentes en la cuenca, esto sin contar con las diversas obras de fortificación que se realizaron a lo largo del territorio, sobre todo en zonas específicas. Kubler menciona la construcción de una fortaleza temporal en Veracruz encargada por el mismo Hernán Cortés a uno de sus soldados que además de ser parte del ejército conquistador fungía como ingeniero.⁷

Como ya hemos visto, la ingeniería en su primer contacto con los indígenas es una ingeniería militar, dentro de esta situación existen referenciadas algunas obras que se realizaron dentro del mismo proce-

so de la conquista. Una de las más importantes y que determinó el rumbo que tomaría la guerra fue la construcción de los 13 bergantines. En las cartas de relación, Cortés los menciona varias veces como el elemento que le permitiría controlar la laguna y de esta manera poner sitio a la ciudad:

En tanto yo quedo haciendo doce bergantines para entrar en la laguna y estése labrando ya la tablazón y piezas de ellos, porque así se han de llevar por tierra, porque en llegando, luego se ligen y se acaben en breve tiempo y así mismo se hace clavazón para ellos y están aparejada pez y estopa, y velas y remos, y las otras cosas para ello necesarias.⁸

Para realizarlos cuenta con el apoyo de los tlaxcaltecas, y aunque no es mencionado a quién o a quiénes se les encarga la dirección del trabajo, al respecto Cortés hace referencia:

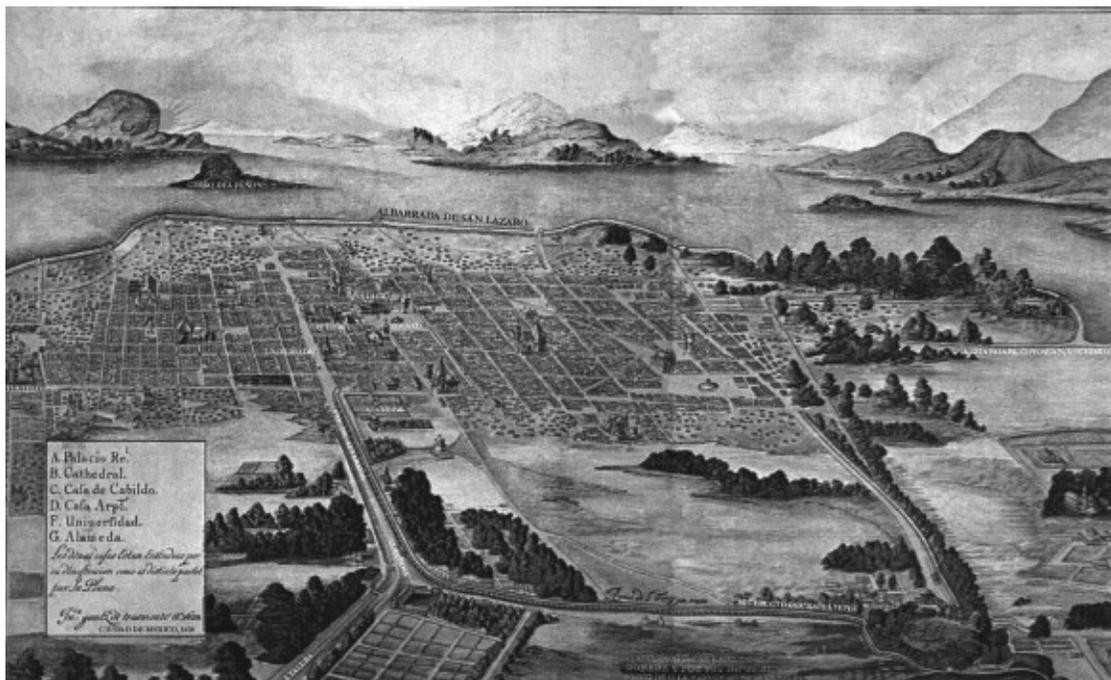
Cuando a esta ciudad llegué hallé que los maestros y carpinteros de los bergantines se daban mucha prisa en hacer la ligazón y tablazón y que tenían hecha razonable obra.⁹

Es muy interesante encontrar en esta fabricación de los bergantines el binomio que se repetiría a lo largo del virreinato, los indígenas aprendiendo la técnica enseñada por los españoles, o mejor dicho la mano de obra hecha por indígenas dirigidos por españoles, las piezas son realizadas en Tlaxca-

⁷ Kubler George, *Arquitectura mexicana del siglo XVI*, Fondo de Cultura Económica, México 1983, Pág. 116

⁸ Cortés Hernán, *op. cit.* p. 119.

⁹ *Ibid.* p.132.



Plano de Juan Gómez de Trasmonte de la Ciudad de México en 1628.

la y enviadas a México por una caravana de indígenas. Este traslado provocó la admiración de los conquistadores, el objetivo era llevar las piezas a Texcoco para ser armados y botados en ese lugar:

*Y otro día que llegó, partieron de allí con la tabla y ligazón de ellos, la cual traían con mucho concierto más de ocho mil hombres, que era cosa maravillosa de ver, y así me parece que es de oír llevar 13 fustas diez y ocho leguas por tierra.*¹⁰

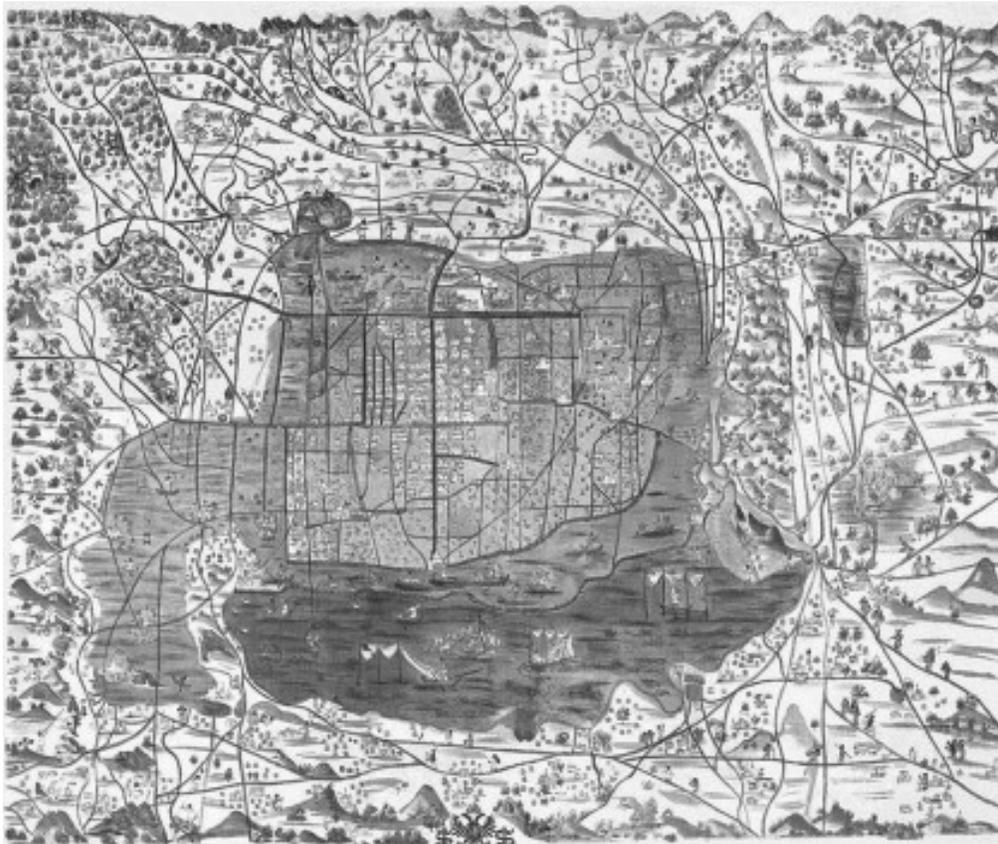
Es éste uno de los primeros trabajos mestizos que marcarían en lo sucesivo la tónica del trabajo en los primeros años. El indígena bajo la dirección hispana realiza un trabajo que de esta forma empezará a aprender los diferentes oficios bajo técnicas españolas para posteriormente ejercerlo por cuenta propia. *Españoles e indígenas lograron organizarse de tal forma que obtuvieron un trabajo complementario y eficiente.*¹¹ Se debe de hacer énfasis en las obras realizadas para la conquista tanto destructivas como constructivas: durante al sitio de la ciudad Cortés manda destruir el acueducto que venía de Chapultepec para dejar sin agua a los defensores. Adicional a la destrucción del acueducto se van sesgando los canales y se destruyen los diques con el propósito de hacer insostenible la posición de la ciudad, provocando además del hambre y la sed, condiciones de

salubridad extremosas para debilitar a los mexicas, se destruyen los diques para permitir el libre paso de las embarcaciones entre zonas de la laguna, recordemos que estas calzadas diques delimitaban áreas específicas de la laguna, en conjunto con los bergantines contruidos, esta serie de obras en las que se requiere la aplicación de conocimientos técnicos son utilizadas como un arma de asedio más.

Cuando la ciudad es tomada por los españoles, las primeras obras de ingeniería, ya fuera del enfrentamiento militar, tienen que ver con regresarla a su estado previo al asedio en el cual la habitabilidad estaba garantizada, pero avanzando más allá, incorporando tecnología hispana en las soluciones, este proceso destructivo que después tiene que revertirse genera una situación de aplicación tecnológica que se repite en la mayoría de los procesos de asedio, la ciudad es destruida para poder dominarla, una vez controlada se debe de garantizar su habitabilidad debido a que el ejército triunfante tendrá que habitarla.

¹⁰ *Ibid.* p.147.

¹¹ Ortiz Macedo Luis, *La historia del arquitecto mexicano siglos XVI-X*, Grupo editorial Proyección de México, México 2004, pág. 28.



Plano de Santa Cruz, se pueden observar varios aspectos que conformaban la Ciudad de México en el siglo XVI.



La columna de Tajao nos muestra la doble función que tenían los integrantes del ejército en un cuerpo militar, en primer lugar como soldados, en segundo como los obreros.

Después de la rendición de los aztecas, varios eran los trabajos urgentes, en primer lugar había que restablecer el suministro de agua por lo que se manda a reconstruir el acueducto en las zonas en que su flujo fue interrumpido, los diques y albardones se reconstruyen parcialmente, en parte porque los españoles no habían comprendido adecuadamente su función; para los bergantines se construyen las atarazanas, construcción sobre agua que a manera de bodega guarda las embarcaciones y adicional a esto sirve como una fortificación, el edificio debió de ser notable y una de las primeras construcciones levantadas en la nueva ciudad, al respecto el propio Cortés menciona:

Puse luego por obra, como esta ciudad se ganó, de hacer en ella una fuerza en el agua, a una parte de esta ciudad en que pudiese tener los bergantines seguros, y desde ella ofender a toda la ciudad si en algo se pudiese, y estuviese en mi mano la salida y entrada cada vez que yo quisiese e hizose. Está hecha tal, que aunque yo he visto algunas casas de atarazanas y fuerzas, no la he visto que la iguale; y muchos que han visto otras más afirman lo que yo; y la manera que tiene esta casa es que a la parte de la laguna tiene dos torres muy fuertes con sus troneras en las partes necesarias; y la una de estas torres salen fuera del lienzo hacia la una parte con troneras; que barre todo el un lienzo, y la otra a la otra parte de la misma manera, y desde estas dos torres va un cuerpo de casa de tres naves, donde están los bergantines, y tienen la puerta para salir y entrar entre estas dos torres hacia el agua.¹²

Otro aspecto importante de la descripción que nos permite hacer una reconstrucción del edificio

es la apariencia de la construcción que le confería cierto carácter defensivo, esta característica estará presente en las primeras construcciones de la ciudad con el valor agregado de requerir conocimientos de construcción en agua para garantizar su funcionamiento y permanencia, insistimos en el carácter mestizo de todos estos trabajos, dirigidos por españoles bajo las necesidades y premisas por ellos establecidas y apoyados en los conocimientos desarrollados por los indígenas, los cuales fueron puestos al servicio de los nuevos habitantes.

El análisis de la obra que gira en torno a la tecnología hidráulica debe de acompañarse del contexto que la genera. El marco en el que se desarrollan este tipo de trabajos siempre será utilitario, el manejo del agua, como ya se ha visto, tiene que ver con caminos muy específicos que resuelven necesidades humanas, el contexto de los trabajos es lo que determina las características particulares, por lo mismo las obras de tipo efímero que se generan para resolver las necesidades generadas en la conquista se irán mejorando para transformarlas en obras más permanentes, por lo mismo el especialista que las realiza, sea cual sea su origen, se transforma de ser en un inicio un soldado cambiará a ser un oficial que se dedica a ejercer su oficio como única actividad, por supuesto en tiempos de paz ☺

¹² Cortés Hernán, *op.cit.* pág. 249.