



Universidad Autónoma del Estado de Morelos

Facultad de Arquitectura

Maestría en Estudios Territoriales, Paisaje y Patrimonio.

Los acueductos de la ex hacienda San Jacinto Ixtoluca, Morelos: estudio de su estructura y de su sistema de distribución de agua.

Tesis

Que para obtener el grado de

Maestro en Estudios Territoriales, Paisaje y Patrimonio

Presenta:

Geovani Jiménez Canales

Comité tutorial:

Dra. Natalia García Gómez (Directora)

Dr. Fernando Peña Mondragón

Dr. Francisco Granados Saucedo

Cuernavaca, Morelos. 2018.

Índice

Resumen	3
Introducción	4
Planteamiento del problema	4
Preguntas de investigación	8
Hipótesis	8
Objetivos	9
Metodología	10
Capítulo 1	12
Contexto histórico de la construcción de la hacienda de San Jacinto Ixtoluca.	
1.1 La minería en el valle de Ixtoluca, Morelos.	16
1.2 Etapas de construcción de la hacienda de Ixtoluca.	24
1.2.1 Antecedentes históricos de su edificación.	26
1.2.2 Cambios de uso de la hacienda.	29
1.3 Estado actual de la hacienda.	28
1.3.1 Características arquitectónicas.	30
1.3.2 Daños, deterioros e intervenciones.	32
Capítulo 2	34
Principios constructivos de los acueductos de mampostería: estabilidad y conducción de agua.	
2.1 Características de los acueductos de mampostería.	34
2.1.1 Antecedentes de la edificación de acueductos.	35
2.1.2 Características de la mampostería de construcciones antiguas.	36
2.1.3 Tipología de los acueductos.	41
2.2 Métodos para conocer el comportamiento de arcadas.	43
2.2.1 Métodos tradicionales para el diseño de arcadas de mampostería.	45
2.2.2 Método de equilibrio límite en arcos de mampostería.	49
2.2.3 Métodos de análisis en estructuras de mampostería.	52
2.3 Conducción de agua en acueductos de mampostería.	55

Capítulo 3	61
Acueductos de la ex hacienda San Jacinto Ixtoluca.	
3.1 Características de los acueductos de la hacienda: geometría, materiales y sistemas constructivos.	61
3.2 Función de los acueductos en el proceso industrial de la hacienda.	65
3.3 Estado actual de los acueductos de la hacienda.	67
3.3.1 Daños, e intervenciones recientes en los acueductos.	68
3.3.2 Normatividad e intervenciones en estructuras con vegetación.	70
Capítulo 4	72
Estudio de las bases del diseño de la estructura y de la conducción de agua de los acueductos de Ixtoluca.	
4.1 Estudio estructural de las arcadas de la hacienda.	72
4.1.1 Métodos tradicionales utilizados en las arcadas de la hacienda.	73
4.1.2 Estudio del equilibrio de las arcadas de la hacienda.	78
4.1.3 Discusión de los resultados.	93
4.2 Estudio de la conducción de agua de los acueductos de la hacienda.	94
4.2.1 Análisis de los desniveles de la presa a la hacienda.	95
4.2.2 Reconstrucción virtual del acueducto principal.	97
4.2.3 Sistema de distribución de agua dentro de la hacienda.	99
Conclusiones	104
Referencias	106
Anexos	112

Resumen

Esta tesis se enfoca en el estudio de acueductos que, como elementos indispensables para la obtención de plata durante el auge productivo de la ex hacienda de San Jacinto Ixtoluca, Morelos, constituyen parte importante del patrimonio arquitectónico del lugar. Entre los conocimientos indispensables para su conservación, en este trabajo se han abordado dos: la identificación del origen de su solución estructural y las características que le han ayudado a permanecer sin problemas de estabilidad. Estos acueductos, que funcionaron como sistemas de irrigación, fueron diseñados para soportar diversas acciones y para proveer de agua suficiente al proceso de producción del mineral desde un lugar ubicado a varios kilómetros, mediante un acueducto ya desaparecido. Este acueducto se prolonga dentro del inmueble con múltiples acueductos más pequeños que se han conservado hasta nuestros días, entre los que se eligieron tres para el desarrollo de este trabajo. Los elementos estructurales de estos objetos de estudio han sido comparados con algunos métodos geométricos antiguos para obtener las dimensiones de elementos de mampostería. Dicho estudio se relaciona y complementa con las líneas de presiones calculadas de los tres acueductos, concluyendo que, para su diseño, la geometría adecuada de sus arcos, pilares y contrafuertes los ayudan a permanecer estables. Adicionalmente, se realizó un estudio del sistema de conducción de agua, que incluyó la distribución dentro de la hacienda y una reconstrucción hipotética del acueducto que partía de la presa al inmueble.

Introducción

Planteamiento del problema

La ex hacienda san Jacinto Ixtoluca se encuentra ubicada en el municipio de Tlaquiltenango, en el estado de Morelos. Inició su construcción a finales del siglo XVI y culminó su primera etapa a principios del XVII, en el mismo periodo del descubrimiento de las minas de San Anastasio y Santa Ana, en la sierra de Huautla (Mazarí Puerto, 1986, pp. 13-14). La hacienda ha tenido diversas etapas de construcción en las que fueron adicionando nuevos espacios arquitectónicos que pueden distinguirse en los cambios de materiales y sistemas constructivos; particularmente en los que se efectuaba el procesamiento del material, así como en la zona de llegada del mineral y en la huerta.

La importancia de esta ex hacienda se dio principalmente por la demanda minera, lo que modificó el desarrollo de su infraestructura hidráulica, y de la construcción de elementos utilizados en el proceso de obtención de plata, como las arcadas, los molinos y la noria. Es importante mencionar que del siglo XVII al XIX, el sistema de distribución de agua fue transformándose junto con los cambios de función del inmueble, al pasar, de hacienda minera a ganadera y posteriormente a agrícola. Debido a estos cambios los espacios dedicados al procesamiento y producción de la plata fueron modificándose (Mazarí Puerto, 1986, pp. 23-27).

En esta hacienda existen acueductos de diferentes dimensiones que eran abastecidos por un acueducto proveniente de una zona más alta, donde se encuentra una presa. El estado actual de algunas zonas de estos acueductos tiene daños de tipo estructural, con grietas que atraviesan la sección transversal de algunos pilares arcos y contrafuertes (Fig. 48) en particular las que están cercanas a la presa, con daños ocasionados por la creciente de la corriente del río en temporada de tormentas. Estos deterioros son agravados por el poco mantenimiento que ha tenido durante años, siendo los ejidatarios quienes han realizado las reparaciones con la herramienta y materiales disponibles (Lara G., 2013, pp. 1-3).

Los acueductos construidos al interior de la hacienda son elementos que conforman

parte esencial del patrimonio industrial del inmueble, estos elementos debieron ser diseñados para soportar su peso propio y transportar el agua para la producción del mineral. Este tipo de estructuras carecen de estudios técnico-constructivos que nos ayuden a entender su comportamiento y contar así con conocimientos necesarios cuando se requiere intervenirlos. Una forma de indagar en el origen del diseño de estos elementos es el estudio de reglas de dimensionamiento de tipo geométrico usadas antiguamente, como las que encontramos en tratados antiguos de construcción, con las que es posible identificar algunas bases que usaron sus constructores.

Diversos factores han causado daños en la hacienda, como lo reportado en las fichas del Catálogo Nacional de Monumentos Históricos (CNMH, 2004), donde se señala que muchos de sus muros han sido derrumbados, así como el crecimiento excesivo de plantas invasivas, grietas, fisuras y desprendimiento de aplanados de cal en muros. Los reportes catalogan los muros y arcadas de las naves de obtención de minerales como en muy malas condiciones (Lara G., 2013, pp. 1-7). En las visitas de campo realizadas se pudo observar que las plantas invasivas de menor tamaño, reportadas en el año 2004 por el CNMH, fueron retiradas y los amates que actualmente se conservan en las columnas de algunas arcadas no ponen en riesgo la estructura de los acueductos; ya que son continuamente podados y tratados con plaguicidas, manteniéndose como uno de los principales atractivos del lugar.

Existen daños y deterioros en la hacienda ocasionados por el intemperismo como las lluvias y vientos, además de eventos sísmicos de la región sur del estado de Morelos, con epicentros en radios cercanos al municipio de Tlaquiltenango, de magnitudes cercanas a 3.2 y 4.0 grados Richter. Además de sismos de mayor intensidad con epicentros en otros estados cercanos, que llegan a afectar las construcciones de esta zona del estado (S.S.N., 2015), como el registrado el 19 de septiembre de 2017. También hay daños que en mayor medida son producidos por el vandalismo del ser humano y su carente información sobre la importancia de estos monumentos históricos, creando una pérdida de identidad y valores de la sociedad (Fig. 61).

En la actualidad, el abandono de algunas haciendas del estado de Morelos provoca

que los pobladores realicen la venta de los terrenos cercanos y dentro de los inmuebles, perdiendo parte importante de las construcciones originales. Cedidos en su mayoría a personas que desconocen la importancia del patrimonio como elemento de cohesión social y desarrollo económico y cultural de las comunidades. Afectando directamente a la conservación de las estructuras aún existentes en estas ex haciendas, de tal manera que algunos de los actuales dueños comienzan a cercar sus terrenos, realizando excavaciones, desalojo y venta de piedras que alguna vez fueron parte de los acueductos.

Sin embargo, una menor cantidad de pobladores quienes son dueños de terrenos cercanos a la hacienda, muestran interés en salvaguardar las edificaciones, tanto para conservar el patrimonio como para obtener una pequeña derrama económica de los visitantes. Por ello buscan mantener e intervenir de manera correcta la hacienda, pero desafortunadamente en ocasiones son asesorados por personal que carece de información adecuada, causando intervenciones deficientes con sistemas constructivos y materiales inadecuados, visibles en algunas zonas.

La problemática se debe en gran medida al desconocimiento de la importancia del inmueble como parte del patrimonio arquitectónico del lugar; además de lo poco que sabemos acerca de los conocimientos técnicos, del proceso constructivo con los que se llevó a cabo la obra originalmente y del sistema de conducción de agua. Por ello se ha llegado a dañarla y, quienes tienen la custodia del inmueble, han realizado mejoras a corto plazo que resultan en problemas posteriores. En este marco, es importante la distribución de agua sobre los acueductos de la hacienda, resultando importante conocer estructuras similares para observar cuál era la forma de transportar agua de la fuente hídrica a la zona de producción. Existen ejemplos de construcciones parecidas en México y en otros países, a las que han hecho estudios de este tipo. Por ejemplo, el acueducto de las Ferraras Tarragona en España, construido a las orillas del río, con la característica de conducir el agua por diferencias de niveles, de una presa cercana a la hacienda, similar a la hacienda de Ixtoluca. (Volente, 2000). En México, uno de los acueductos representativos se encuentra en Zempoala, llamado acueducto del padre Tembleque, el complejo constructivo cuenta en una sección con una serie

de arcadas similares a las de Ixtoluca, por tener dimensiones similares (Vargas Palma, 2004, pp.: 3-4).

Para conocer las pendientes y distribución de agua en haciendas, la posible existencia de acueductos subterráneos o canales de baja altura con un sistema *opus quadratum*¹ mencionado por Salcedo (1993, p.29), dificulta el estudio del desarrollo hidráulico en haciendas de producción minera principalmente, estudiar los acueductos subterráneos ayudaría a entender la importancia de la proyección de las pendientes para la distribución de agua y rescataría parte del conocimiento perdido.

¹ Opus quadratum es un sistema constructivo, en donde sillares de piedra de la misma altura se establecían en hiladas paralelas regulares, principalmente con el uso de mortero.

Preguntas de investigación

¿Qué principios fueron utilizados en la construcción de acueductos de la hacienda de Ixtoluca, para garantizar su estabilidad ante cargas gravitacionales y la correcta distribución de agua?

¿Qué características geométricas, constructivas y estructurales tienen los acueductos?

¿Qué función tuvieron los acueductos de la ex hacienda de Ixtoluca en el proceso de producción de la plata?

¿Cuáles son las pendientes necesarias para la conducción de agua en los acueductos de Ixtoluca?

¿Cuáles fueron las etapas constructivas de los acueductos de la hacienda de Ixtoluca?

Hipótesis

Los acueductos de la ex hacienda de Ixtoluca debieron ser diseñados para soportar diversas acciones, y para conducir adecuadamente el agua dentro del inmueble. El origen de las técnicas constructivas empleadas en su diseño está relacionado con la geometría de sus elementos estructurales que le han garantizado su estabilidad ante peso propio y su capacidad para trasladar el agua. Esto puede ser estudiado a través de reglas antiguas para dimensionar elementos de mampostería y métodos de análisis, como el cálculo de líneas de presiones, para identificar qué principios han garantizado su estabilidad.

Objetivos

Objetivo general

Identificar los principios estructurales y el sistema de distribución de agua utilizados en la construcción de los acueductos de la ex hacienda de Ixtoluca, que han garantizado su estabilidad y en su momento, permitieron el adecuado uso de agua para la producción minera.

Objetivos particulares

Identificar las características generales de los acueductos de la ex hacienda de Ixtoluca: materiales, sistemas constructivos y características estructurales.

Conocer las etapas de construcción de los acueductos e identificar la función que tuvieron los espacios destinados a la producción de la plata donde llegaba el agua, dentro y fuera de la hacienda.

Revisar si en el diseño de la estructura de los acueductos fueron empleadas algunas reglas tradicionales estructurales de tipo geométrico, para determinar los espesores de arcos y columnas.

Estudiar el estado de equilibrio de los acueductos de la ex hacienda de Ixtoluca, mediante el cálculo de líneas de presiones para comprender su estabilidad ante peso propio.

Analizar las pendientes de los canales de los acueductos para identificar cómo llegaba el agua a la hacienda y cómo se distribuía dentro del inmueble para su adecuado uso industrial.

Metodología

Esta investigación inició con la revisión de los antecedentes históricos y del papel de los acueductos en el proceso productivo de la hacienda minera. Se revisaron fuentes bibliográficas y documentos históricos que ayudaron en la reconstrucción de cómo fue el proceso de edificación del inmueble y de su producción a lo largo del tiempo. También fueron consultadas algunas investigaciones previas de la hacienda y de la región en la que se ubica, que ayudaron a obtener información importante del contexto histórico, social y económico de su construcción y de su vida productiva.

El estudio de las características de otros acueductos similares ayudó a definir y reconocer los conceptos más importantes para el estudio del origen del diseño de acueductos de mampostería. El primer paso para la identificación de las características estructurales y de las pendientes de los acueductos para dirigir el agua a ciertos espacios de la hacienda, fue realizado por medio de levantamientos arquitectónicos en los que se utilizó cinta, flexómetro y plomada, complementados con el uso de una estación total. Fueron levantados reportes fotográficos de cada elemento, y para el estudio del acueducto ubicado al exterior de la hacienda se utilizó el software *global mapper*, con el que fue posible identificar la topografía de la zona.

Por otra parte, respecto al estudio del funcionamiento estructural, se eligieron algunos acueductos cuyas características representaran las diferentes tipologías que hay en la hacienda, a los que se realizó el cálculo de líneas de presiones para conocer su comportamiento ante cargas gravitacionales. La identificación del correcto funcionamiento de los acueductos y su relación con su geometría se logró con la aplicación del método de equilibrio límite (líneas de presiones) complementado con los resultados del estudio de reglas geométricas antiguas. Fueron analizadas tres secciones con diferente geometría y distintas características constructivas; por ejemplo, en el primer molino donde llega el mayor flujo de agua, se encontraron apoyos de sección rectangular de mayores dimensiones a los otros, en el resto de los acueductos elegidos se observa diferencia de altura en los apoyos, así como la existencia de amates adosados a la estructura.

El origen del diseño de la estructura de los acueductos y de la distribución de agua se estudió con la revisión y aplicación de reglas de dimensionamiento de tipo geométrico, para elementos de mampostería de antiguos tratados de construcción y con ayuda un estudio de las pendientes de los acueductos necesarios para transportar el agua, que permitió la reconstrucción de los tramos que ya no existen.

Capítulo 1

Contexto histórico de la construcción de la hacienda de San Jacinto Ixtoluca

En este capítulo se dan a conocer los antecedentes históricos de la construcción de la hacienda de beneficio mineral San Jacinto Ixtoluca, partiendo de la importancia minera que hubo en el sur del estado de Morelos, principalmente la sierra de Huautla y la región de las Amilpas. Posteriormente se presenta la ubicación de minas y centros de mano de obra, con respecto a las haciendas de beneficio mineral, dentro de las que se encuentra la hacienda de producción de plata de Ixtoluca.

La construcción de la hacienda minera se explica a continuación a partir de los antecedentes históricos de su creación, sus características arquitectónicas y los daños e intervenciones a las que se ha enfrentado. Los periodos de construcción presentados aquí muestran la forma cómo se ha desarrollado, y pueden identificarse los espacios que fueron agregándose a lo largo del tiempo hasta la actualidad. El inmueble tuvo varias etapas y, al terminar su función como hacienda de beneficio, se reutilizó con fines comerciales, de guarida y turísticos, que se abordarán en este capítulo.

La hacienda de San Jacinto Ixtoluca se encuentra en el municipio de Tlaquiltenango en el estado de Morelos; su nombre proviene de *Tlakil-li*, que significa encalado, *Tenam-itl* muro, y *ko* lugar, es decir: “lugar de los muros encalados”. Su jeroglífico en la figura 1 muestra muros de gran altura, similares a las grandes torres del sitio prehispánico llamado *el rollo*; el significado del jeroglífico refleja la importancia que se le daba a las construcciones de la localidad, ya sea por su monumentalidad o por su calidad constructiva (B. Aragón, 1969, p. 72).



Figura 1. Jeroglífico de Tlaquiltenango.

Tlaquiltenango es uno de los primeros pueblos del estado de Morelos que conserva ruinas de construcciones que respaldan su antigüedad, similares a los poblados de Chimalacatlán y de Huautla. Tlaquiltenango y el poblado de Ixtoluca se encuentran al poniente de la serranía que divide al estado de Morelos en dos grandes valles: el de Amilpas-Cuernavaca y el de Jojutla, ambos pertenecientes a lo que fue el Marquesado del valle de Oaxaca gobernado por Hernán Cortes (Fig. 2).

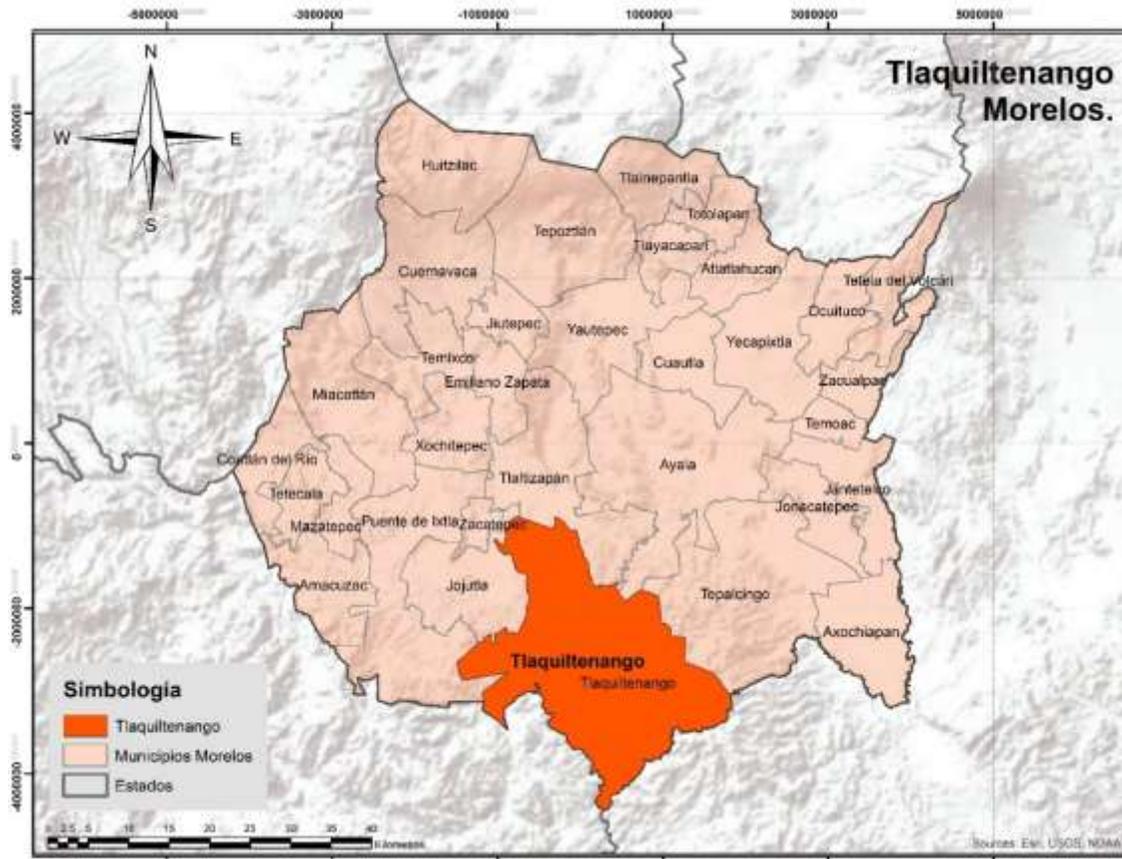


Figura 2. Ubicación de Tlaquiltenango en el estado de Morelos. Elaboración propia con el software ArcGIS, 2017.

Ixtoluca formaba parte de la zona conocida como El Limón (Fig. 3), cercana a cerros importantes como los de Santa María, Guajolote y Huautla, con alturas promedio de 1642 m. Del cerro de Palo Verde y el de tierra negra de la Ciénega en los límites con el estado de Puebla y el municipio de Tepalcingo, se desprenden los principales poblados con lomeríos, valles y cañadas localizados dentro del municipio de Tlaquiltenango.

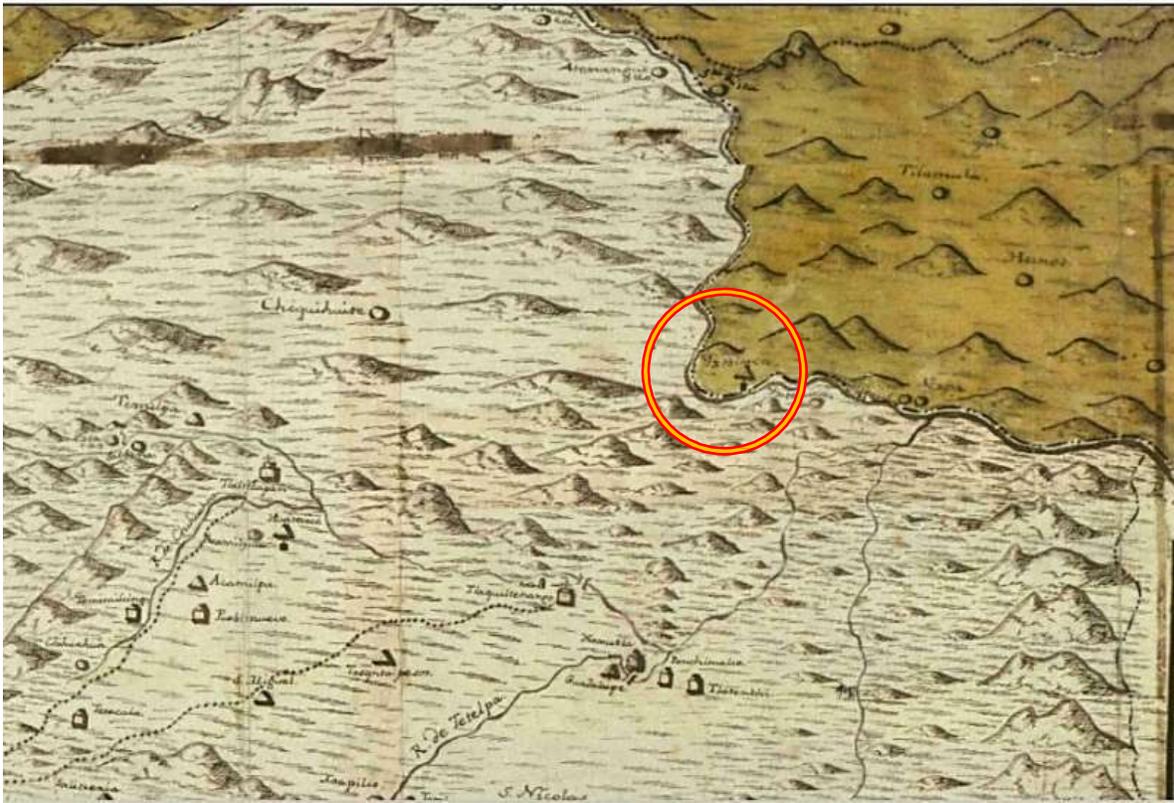


Figura 3. Plano de las jurisdicciones de Cuernavaca y las Amilpas. Con la ubicación de Ixtoluca como una zona de producción mineral, MAPILU, A.G.N. 2017.

Tlaquiltenango y la sierra de Huautla pasaron a integrar parte del estado de Morelos por un decreto del 25 de septiembre de 1884, que tuvo efecto a partir del 1º de enero de 1885 (Fig. 4). Años antes, en la cabecera municipal se construyó el convento iniciado por la orden de los franciscanos y terminado por los dominicos en el año de 1540, obra arquitectónica de las más antiguas, no sólo del estado sino del continente americano (Mazarí Puerto, 1986).

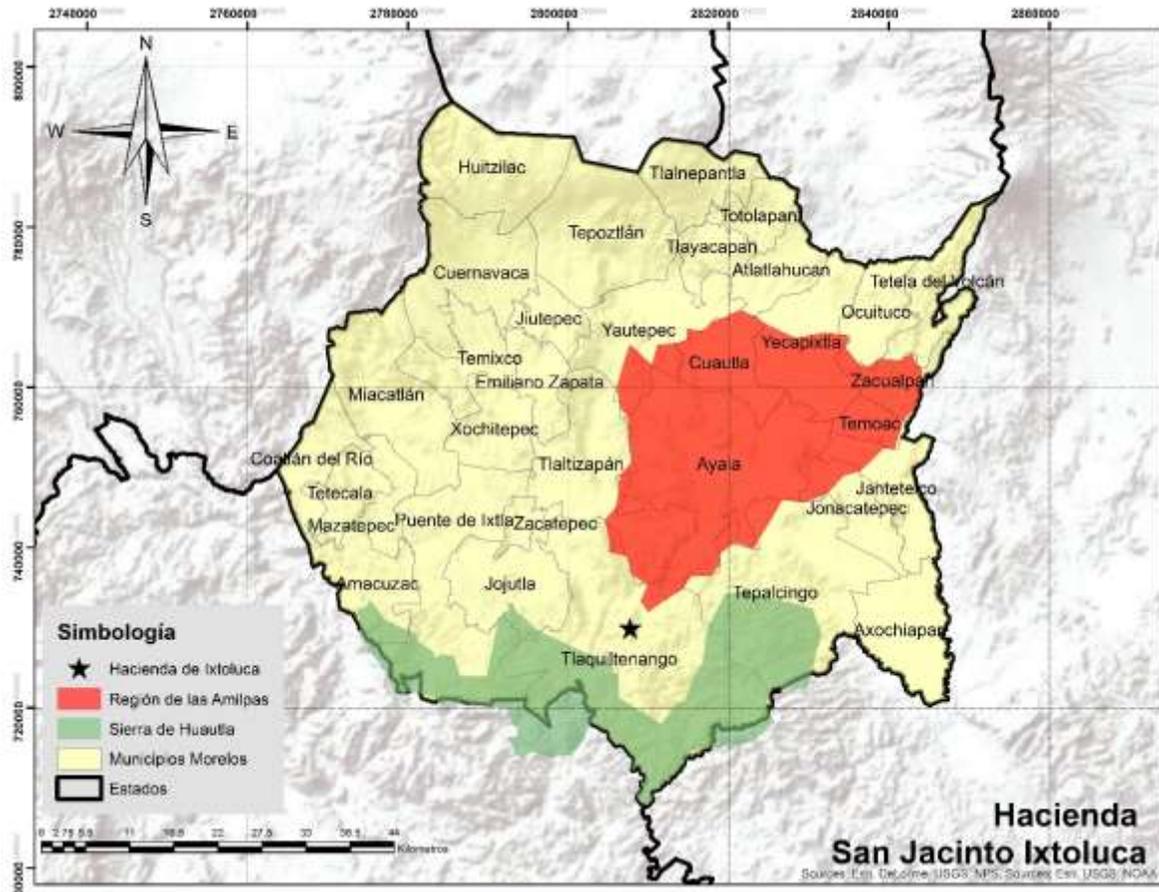


Figura 4. Zona de la sierra de Huautla (color verde) y zona de las Amilpas (color rojo), Ixtoluca. Elaboración propia ArcGIS, 2017.

En los actuales municipios de Tlaquiltenango y Tlaltizapán, los españoles impulsaron principalmente la cría de ganado, pero con el paso de los años se dieron cuenta de los grandes beneficios que podrían obtener con la industria minera debido a los grandes recursos naturales de la región. Con el establecimiento en primer lugar de la hacienda de San Jacinto Ixtoluca para procesar toda la plata de la sierra de Huautla, la zona tuvo una economía de gran recaudación durante los siglos XVII y XVIII (Crespo, 2010, p. 135).

1.1 La minería en el Valle de Ixtoluca, Morelos

A finales del siglo XVI inició la explotación de plata en la sierra de Huautla, al sur del actual estado de Morelos, que en el siglo XVII alcanzó a ser un centro minero de gran importancia en el centro del país (Valentin, 1994, p. 22). En la sierra de Huautla (Fig. 5), se encuentran una gran cantidad de piedras volcánicas, bancos de materiales e importantes minas de plomo y plata. La explotación mineral que se realizó en el valle de Ixtoluca, a diferencia de los grandes fundos mineros del país, estuvo basada en la diversidad de minerales como el oro, plata, cobre, fierro, plomo, cinabrio y manganeso (Crespo, 2010).



Figura 5. Sierra de Huautla. Fotografía de Arturo Arellano, 2015.

El real de minas de San Francisco de Huautla que abastecía la hacienda de Ixtoluca, era uno de los centros mineros más antiguos del centro de la Nueva España, iniciando su fundación aproximadamente en 1570, después de la explotación de las minas de Taxco, Sultepec y Zacualpan, en el periodo de 1531 a 1558 (Gerhard, 1986, pp. 93-94). La vida de este real minero tuvo una producción intermitente, sólo algunas haciendas tenían un ciclo continuo de hasta más de treinta años; la mayor parte funcionaban en cortos periodos, alternados en su mayoría, por afectaciones como las inundaciones y el abandono (Branding, 1975, p. 7).

El crecimiento y desarrollo de las minas del Real de Huautla durante el último tercio del siglo XVII se reconstruyó por medio de la producción de plata, de acuerdo con información recabada de los libros de cargo y data de la real hacienda de la caja de México del periodo 1709-1821 (Sánchez Santiró, 2003, p. 4). Como se observa en la gráfica de la figura 6, de 1709 a 1726, no son encontradas las declaraciones de plata diezmada, lo cual se puede deducir en la ausencia de remesas durante esa

etapa. En los periodos productivos de la hacienda se pueden establecer cuatro etapas; la más importante de ellas es de tres lustros, comprendida entre 1733 y 1748, en los que se reactivó la producción, obteniendo los mayores registros de consumo de azogue de 1739 a 1745.

La segunda etapa de producción fue de 1750 a 1769, en la que prácticamente abandonaron las actividades mineras del Real de Huautla; y la tercera etapa, de 1770 a 1785, presenta un renacimiento en las actividades productivas, lo cual incitó un creciente impulso poblacional. La última etapa comprendió de 1789 a 1811, en la que mantuvo un relativo aumento productivo, declinándose a finales de 1812; sin embargo, hasta 1830 se presentaban declaraciones de propios mineros, en mínimas cantidades (Sánchez Santiró, 2001).



Figura 6. Gruesa de diezmos de plata de azogue del real de Huautla, del año 1743-1820. Observando el periodo con mayor producción en referencia al tiempo de funcionamiento de la hacienda de Ixtoluca. Elaboración por el autor, 2017.

Otro de los factores importantes en la producción de plata para los mineros del Real de Huautla, fue el abastecimiento de la sal como insumo indispensable en la producción de plata. En la Tabla 1 se observa la jurisdicción de Xonacatepec desde

donde abastecía de sal a algunas minas de la sierra de Huautla; sin embargo, toda la distribución y venta de la sal, se encontraba a cargo de los alcaldes mayores quienes revendían el producto para obtener mayores ganancias, teniendo el control total de licencias para poder sacar la sal de las distintas jurisdicciones (Sánchez Santió, 2003, p. 18).

Pueblos inscritos en el <i>Coatequitl</i> del Real de minas de Huautla, (1778-1785).	
Jurisdicción	Pueblos
Acatlán-Piastla	Chila de la Sal
Chiautla de la Sal	Chiautla de la Sal, Ocotlán, Tzicatlán, Cuacalco, Pilcaya,
Iguala	Ixcamilpa, Huehuetlán
Jonacatepec	Tepecuacuilco
	Jocacatepec, Tetelilla, Ayoxochiapan, Tlalixtac, Jantetelco,
	Amayuca, Tlayac, Amacuitlapilco, Chalcatzingo, Ixtoluca,
	Jalostoc, Atotonilco, Tepalcingo, Huitzililla
	Mitepec, Zaután
Teutlalco	

Tabla 1. Pueblos inscritos en el Coatequitl del Real de Minas de Huautla, 1778- 1785.

Fuente: AGN 2016, Minería, V.20, exp. 3; General de parte. V.66, exp. 324, f. 239, f. 239v-240; AHPM, 1785 II d.4 y 1785 VI 23d.23.

Existieron varios lugares que abastecían de mano de obra para las *coatequitl*² del Real de Huautla, como puede observarse en el mapa figura 7 y de otras zonas del centro del país. Así, entre 1778 y 1785 las jurisdicciones pedían el repartimiento de los pueblos de Chiautla de la Sal, Cuautla de Amilpas y Tepecuacuilco principales proveedores de mano de obra para las haciendas de la zona de Huautla, entre ellas la de Ixtoluca.

² Coatequitl: Obra pública o de comunidad. (*Gran Diccionario Náhuatl*. Universidad Nacional Autónoma de México: 2012. Disponible en la Web <<http://www.gdn.unam.mx>>

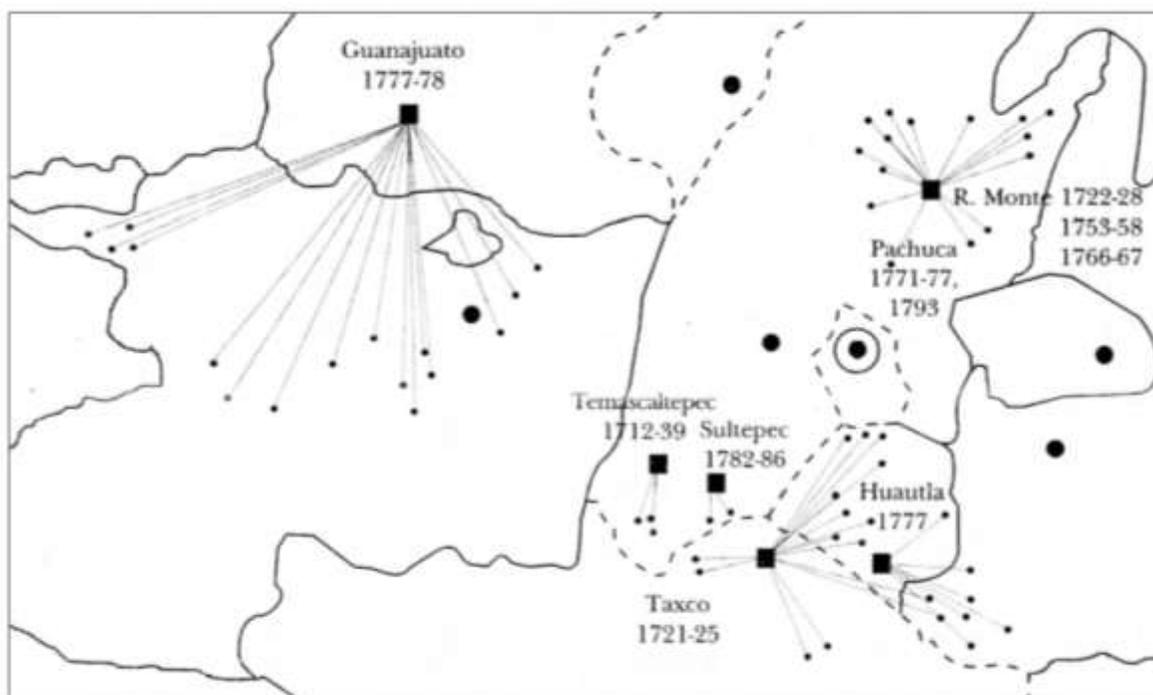


Figura 8. Principales minas de la zona centro sur del país. Sánchez Santiró, 2003, p. 121.

En el estudio realizado en el Real de minas de Huautla, podemos concluir que las actividades económicas del virreinato incluían en gran parte a la minería sin dejar a un lado la importancia de la producción mercantil azucarera. Sin embargo, no se mantuvo tanto tiempo como fue planeado, solo durante el periodo de 1770-1785, debido a que se encontraba en una etapa de rendimientos decrecientes. En el Anexo 1 de esta tesis se muestra la información de la gruesa de diezmos de plata del Real de Huautla de 1709-1819 con respecto a la caja México, donde puede observarse cómo fue perdiéndose la producción (Sánchez Santiró, 2003, p. 119).

Contexto físico de la hacienda de Ixtoluca

Ixtoluca proviene de la palabra *Ixtolocan*, una abreviación de *ixtololocan*, palabra compuesta por *ixtololotli* que significa ojo o agujeros, y de *can* que es lugar (Robelo, 1897, p. 38). Deduciendo que la palabra hace alusión al lugar de los ojos, en referencia a la gran cantidad de luciérnagas y cocuyos existentes en las orillas del río, así como a los ojos de agua existentes en la cuenca del río.

El poblado de Ixtoluca tiene un clima cálido subhúmedo, se encuentra en el municipio de Tlaquiltenango. Es atravesado por dos ríos; uno de ellos es el río Yautepec, que llega hasta el pueblo de Bonifacio García; y por el río Cuautla con dirección a el Higuierón (Fig. 9). Siendo de mayor importancia el río Cuautla del cual se abastecía la hacienda de Ixtoluca, aprovechando sus grandes dimensiones y el flujo continuo, aún en temporadas de sequías (INEGI, 2015).

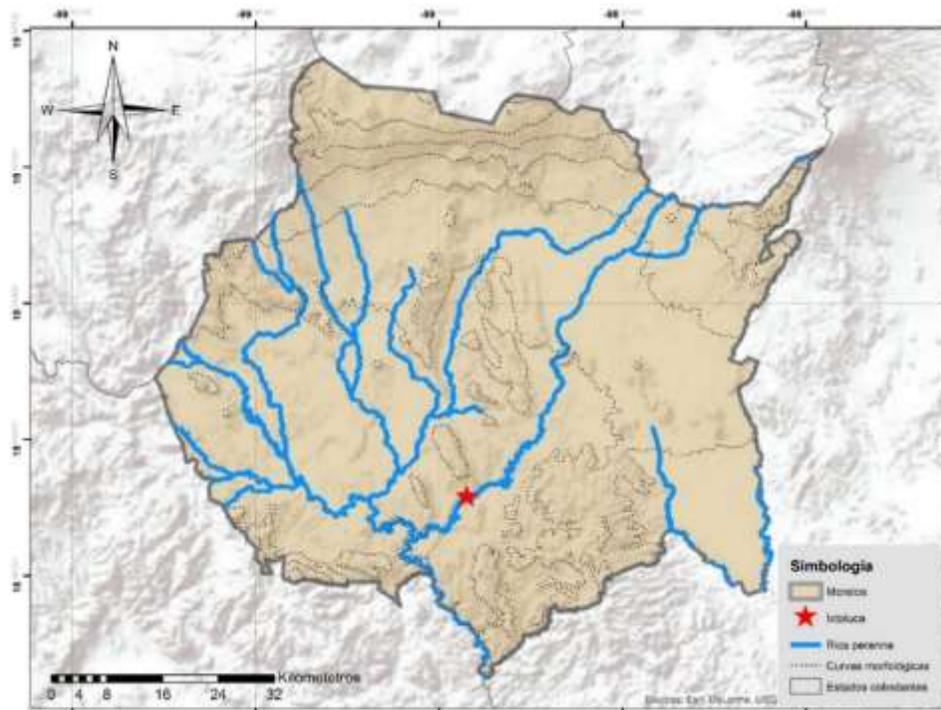


Figura 9. Ríos perennes del estado de Morelos y ubicación de Ixtoluca.

Elaboración propia ArcGIS, 2017.

En los mapas se ubica la hacienda de Ixtoluca en el estado de Morelos, y la trayectoria del río Cuautla dentro del poblado de Ixtoluca y el meandro elegido para su construcción (Figs. 10, 11). Con imágenes satelitales podemos ubicar el río de abastecimiento de la hacienda, la ubicación del inmueble, la presa de suministro y la distribución de agua a su interior, además de la identificación de las características físicas de la región (Figs. 12, 13).



Figura 10. Ubicación de la hacienda de Ixtoluca. Google Earth, 2016.

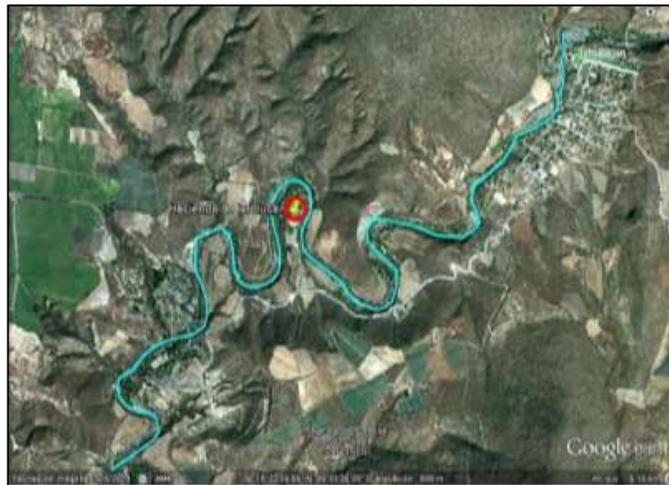


Figura 11. Ubicación de la hacienda de Ixtoluca en la cuenca del río Cuautla. Google Earth, 2016.



Figura 12. Ubicación de la hacienda y el meandro del río. Google Earth, 2016.



Figura 13. Distribución de agua dentro de la hacienda (color azul). Google earth 2016.

En la figura 12 observamos que la ex hacienda de Ixtoluca está ubicada a orillas de río Cuautla, en un pequeño meandro entre los lomeríos de la región; el lugar es característico por un ambiente rodeado de cerros y montañas, así como asentamientos que existían antes de su construcción (Fig. 14). Con la característica de encausar excedentes hídricos provenientes de afluentes de cuevas o cuencas, cumpliendo con las particularidades de las llamadas rinconadas o rincones que García Zambrano (1994) ha estudiado.

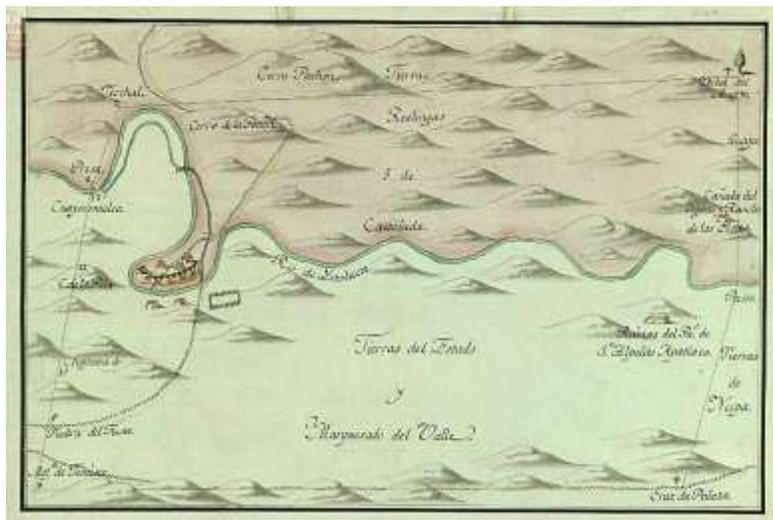


Figura 14. Croquis de las tierras de Nespa, Cañada del órgano, Rancho de los elotes, Río Ixtoluca, Cerro de la Peana, Cerro pachón, Cuayocomulco y Cerro de la pila, entre otros (Archivo General de la Nación, 2014) Mapilu.

1.2 Etapas de construcción de la hacienda de Ixtoluca

Los cambios que se dieron con la llegada de los españoles al valle de Ixtoluca alteraron el sistema de tenencia, acceso a la tierra, agua y construcción de los pueblos del valle de Ixtoluca, a la par de la transformaron del paisaje regional, generando una mezcla de los conocimientos indígenas y conocimientos técnicos de los españoles, para la construcción. El primer paso para la edificación de la hacienda fue el abastecimiento de agua, donde fue necesaria la construcción de una presa a orillas del río y un sistema de conducción que permitiera el curso de agua sobre un terreno accidentado (Fig. 15). Posteriormente, por el nivel del río fue necesario construir un acueducto de tres arcadas y columnas, que lo atravesó de norte a sur. El conducto del canal principal de abastecimiento continúa hasta llegar al acceso de la hacienda, para proseguir con su distribución dentro del inmueble.

El desarrollo constructivo de la hacienda continuó con las cisternas para el almacenamiento de agua y posteriormente fueron edificados el molino y la noria que reciben el caudal del río, a la par de la construcción de las bodegas. El progreso de la hacienda continuó con la edificación de otros dos molinos y dos calderas, así como la de lavaderos en la parte sur. Existen adecuaciones y espacios construidos que, por el tipo de su sistema constructivo y de sus materiales, podemos deducir que fueron construidas en diferentes épocas; cuando dejó de funcionar como hacienda de beneficio se adecuaron los espacios a las nuevas funciones que le daban al inmueble (Robelo, 1897, pp. 47-54).

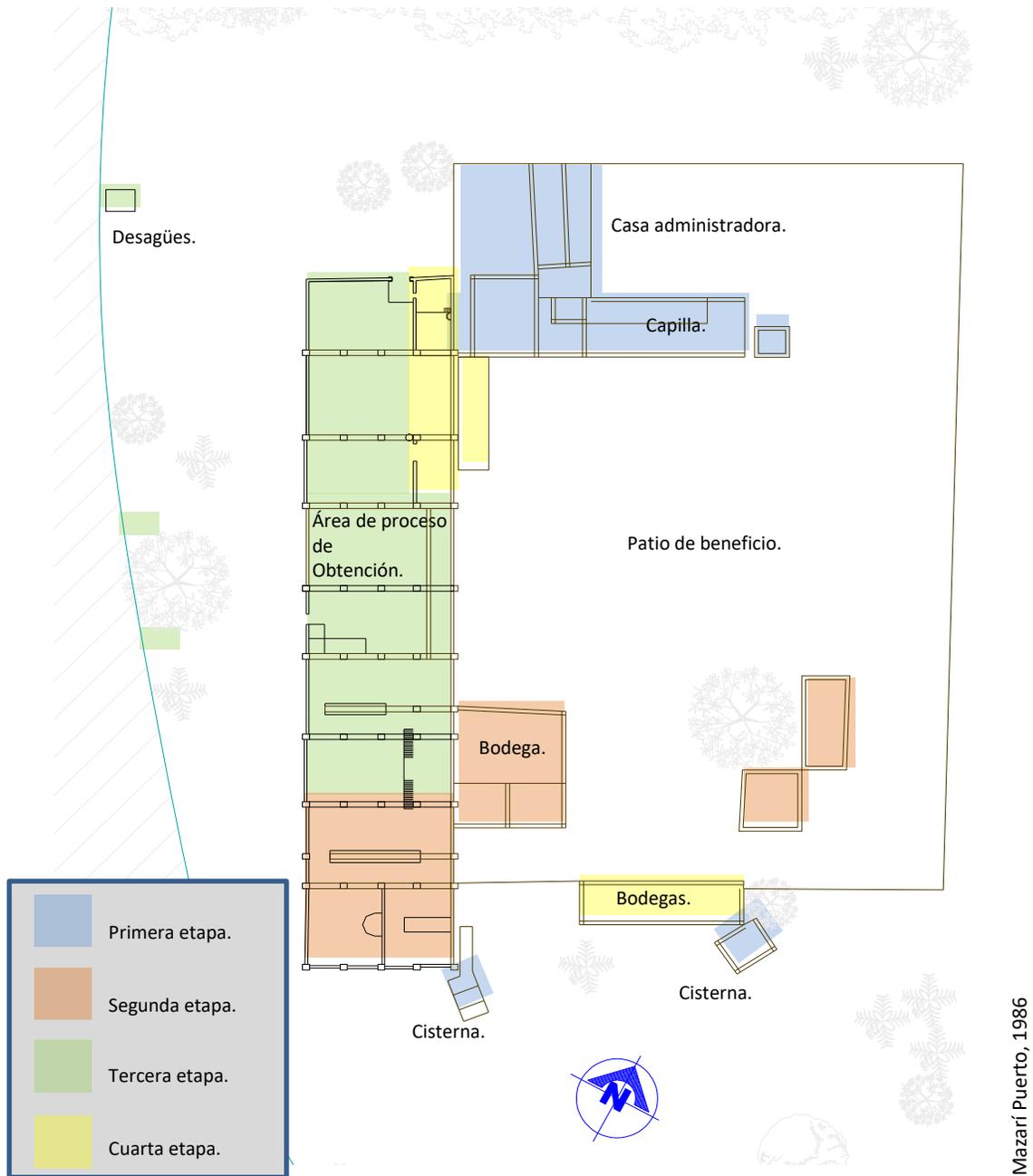


Figura 15. Cuatro etapas constructivas de la hacienda San Jacinto Ixtoluca, de acuerdo a lo escrito por Mazarí Puerto, 1986. Elaboración propia AutoCAD, 2016.

1.2.1 Antecedentes históricos de su edificación

La palabra hacienda proviene del latín *facienda*, que significa: la acumulación de riquezas y bienes que poseía una persona o una institución. Así la llamada real hacienda incluía los saberes, tributos, rentas y demás bienes apoderados por la corona española.

El primer siglo de dominación española en la Nueva España designó un tipo de finca rural dedicada a la producción principalmente agropecuaria, basada en una extensión regular de tierra, agua y lo indispensable para su correcto funcionamiento. En esa época en Morelos modificaron arbitrariamente los sistemas de tenencia de la tierra y el agua en gran parte del estado, reconociendo abiertamente a los hacendados la propiedad individual. Esto produjo un aumento en la construcción de haciendas, desalojando a los indígenas de sus asentamientos originales; sin embargo, su capacidad de adaptación y rendimiento como mano de obra ayudó a su subsistencia.

El territorio de Tlaquiltenango tuvo un desarrollo particular y único a la llegada de los españoles debido a que fue un señorío adjudicado a Hernán Cortés a partir del 6 de julio de 1529 que se manejaba como un estado, en donde Cortés y su hermano Martín, el segundo marqués, permitieron que se establecieran pequeños monopolios. Es decir, en este caso construyeron haciendas en zonas estratégicas del sur estado, para ser posteriormente centros productores.

Durante la construcción de la hacienda de San Jacinto Ixtoluca, existió un molino manual para metales en la sierra de Huautla, instalado en el mortero de Mapachtlan cercano a la hacienda del mismo nombre, propiedades del señor Don Francisco Ayala, denominada como la hacienda de los hornos. En el año de 1719, los indios de Tlaquiltenango pidieron a la Real Audiencia se impidiera a Don Francisco la explotación de las haciendas, debido a que perjudicaba a sus sembradíos.

La hacienda de Ixtoluca inició su construcción a finales del siglo XVI, bajo las instrucciones del Marqués del Valle, Hernán Cortés, quien la destinó al beneficio del mineral que se extraía del Real de Huautla de Morelos y de la mina de Taxco, en el

estado de Guerrero. Administrada por sacerdotes jesuitas, fue abandonada al terminar el siglo XVIII, cuando éstos son expulsados de la Nueva España por Carlos III, quedando posteriormente en manos de particulares que continuaron aprovechando brevemente las extracciones de la mina de Huautla (Mazarí Puerto, 1986).

1.2.2 Cambios de uso de la hacienda

Aproximadamente en el año de 1810 terminó el funcionamiento de la hacienda San Jacinto Ixtoluca como productora de plata, etapa en que haciendas de la región disminuyeron o terminaron su producción. Posteriormente, con la llegada del movimiento insurgente, fue utilizada como guarida de los insurrectos por varios años y por ello, fue un lugar donde se realizaron detenciones. Además de que fue escenario del fusilamiento de sublevados en el año 1817.

En 1825, a manera de informe al gobernador del Estado de México, se realiza la contabilización de seis haciendas de beneficio, entre ellas la de Ixtoluca, cuando en ese entonces el propietario era Don José María Fagoaga. En dicho informe señala que esta hacienda es la única al corriente, es decir, es la única que aún se encuentra trabajando. La principal causa de que esto se diera fue el uso de maquinaria hidráulica, mientras que el resto de las haciendas dependía de bestias, que en ese periodo escaseaban (Orellana, 1995).

Con el paso de los años fue disminuyendo la extracción metalúrgica en la región y con ello disminuyó la actividad de las haciendas de beneficio, extinguiéndose unas y subsistiendo otras de manera muy precaria. Esto dio como resultado que, a finales del siglo XIX, Ixtoluca se encontrara prácticamente inactiva, y en 1886 la hacienda reportada en los archivos regionales de Tlaquiltenango con un asentamiento de apenas 10 habitantes (Castro, 1997). Durante la Revolución Mexicana, en 1920, la hacienda de Ixtoluca sirvió de refugio de tropas zapatistas y fue utilizada como un centro de operaciones de este grupo. Posteriormente, para el año de 1927, por decreto presidencial pasó a ser propiedad del ejido Limón- Mezquitera, y después del abandono a causa de la revolución, en 1943 llegó un regiomontano para sacar

todo el azogue y mercurio acumulado durante su vida productiva, dañando algunas estructuras y cubiertas de madera existentes.

A principios de los años cincuenta, la gente cercana a la zona sacó el mercurio que aún estaba enterrado alrededor de la hacienda o sobre sus estructuras, para su venta o cambio. En la década de los setenta el inmueble fue utilizado como una destiladora clandestina de alcohol que era vendido en Jojutla; tiempo después llegó a Ixtoluca un ejidatario de la región y se instaló en las habitaciones todavía existentes, realizando reparaciones en toda la hacienda, desalojando vestigios y herramienta que ya no eran utilizada. Posteriormente construyó unas cisternas de mampostería en el centro del patio, para usarlas en la cría de cerdos y aves de corral (Castro, 1997).

1.3 Estado actual de la hacienda

En la Tabla 2 se muestra el establecimiento de las haciendas de beneficio de metales de Morelos que presenta Crespo (2010, p. 410), así como el estado de conservación actual, donde se puede observar que la mayoría se encuentran desaparecidas o en ruinas, sin ningún uso o intervención realizada para su preservación.

Relación de haciendas metalúrgicas en el estado de Morelos				
No.	Relación de sitios, nombre y lugar	Estado de conservación	Uso original	Observación
106	Huatecalco, Tlaltizapan. Huautla, Huautla.	Desaparecida	Beneficio	También llamada "La plata"
107	Ixtoluca, Tlaquiltenango. Nexpa, Tlaquiltenango.	Desaparecida	Beneficio	Hacienda de plata y luego de caballos.
108		Desaparecida	Beneficio	

110	Mortero, Ciudad Ayala, Villa de Ayala.	Desaparecida	Beneficio	
111	Tepoztitlán, Zacualpan.	Desaparecida	Beneficio	También conocida como "La ferrería"
112	Tlachichilpa, Tlaquiltenango.	Ruinas	Beneficio	

Tabla 2. Estado actual y uso de haciendas metalúrgicas en el estado de Morelos.

Fuentes: Siller Camacho, Juan Antonio "Catalogación 1998-2009", Proyecto de Documentación y Catalogación en el estado de Morelos, INAH.

La hacienda de San Jacinto Ixtoluca ha tenido varias intervenciones de limpieza por parte de los ejidatarios quienes se encargan del mantenimiento, por lo cual todos los pastizales que se encontraban a su alrededor fueron podados. En su interior se desalojó toda la flora que obstruía la circulación dentro del patio de beneficio, así como la poda de los amates que se encuentran adheridos a la estructura, y cercanos a las bodegas en la parte del acceso (Fig. 16).



Figura 16. Escaleras de acceso en el año 1992 y en 2015, vegetación invasiva presente en patio de beneficio y acceso.

Se han realizado algunas intervenciones por parte del Instituto Nacional de Antropología e Historia (INAH) en canales de conducción de los acueductos en el área de obtención mineral (Fig. 17), así como la reparación de algunos muros divisorios por el desprendimiento de piedras. Además de la limpieza del inmueble y de las cisternas que aún se encontraban enterradas, las intervenciones se han realizado por etapas y en algunos casos solo secciones, ya que actualmente encontramos muros con desprendimientos de materiales, con oquedades y desaplomo.



Figura 17. Acueducto de distribución en el año 1992. Condiciones de abandono con maleza en todo su interior.

Actualmente en el interior de la hacienda se realizan limpiezas y podas de árboles continuamente por parte del personal que labora y se encarga de cuidarla ya que es un lugar turístico que ofrece su jardín para eventos y campamentos. En los últimos años se le ha dado la promoción como uno de los principales centros turísticos del municipio de Tlaquiltenango, que es utilizado para eventos gubernamentales y congresos de turismo a nivel nacional, por ello, continuamente se le realizan trabajos de limpieza y mantenimiento.

1.3.1 Características arquitectónicas

Es posible tratar de identificar los espacios de la hacienda observando los lugares utilizados en la producción de plata. Las construcciones en donde están los tres molinos que eran movidos por agua se encuentran en buenas condiciones; fueron construidos con muros de mampostería y aplanados con mortero de cal que aún

conserva. En las mismas condiciones están los canales que abastecían de agua a todo el complejo, en los que aún se pueden apreciar estos elementos debido a su continua limpieza.

En la parte superior de la propiedad y por fuera del casco, existen cinco habitaciones bien conservadas, que incluso mantienen sus techos con bóveda de cañón corrido; es posible que estas habitaciones fueran utilizadas para las personas encargadas de administrar la hacienda y como bodegas para almacenar el mineral obtenido. Por sus características, probablemente estas construcciones fueron posteriores a la construcción del casco debido al buen estado de conservación que mantienen si los comparamos con los muros perimetrales donde se ubicaban las arcadas.

También existen los restos de tres habitaciones esparcidas a lo largo de una explanada de tierra; estas ruinas probablemente fueron de las primeras construcciones en este lugar debido a que su estado de deterioro es mayor que otras que componen a la hacienda. El edificio de tratamiento de minerales se encuentra dividido en su parte transversal por una serie de acueductos compuestos de arcos y columnas, que parten a la nave en 12 espacios de distintas medidas, dichas arcadas de 1.25 m de base por 1.05 m y 6.50 m de altura, eran utilizados para conducir agua a los diferentes molinos y cisternas en la ex hacienda.

Al acceder al área de obtención mineral existen unas escaleras compuestas de tres tramos, con una altura de 7.60 m y de 1.70 m a 2.75 m de ancho, que daban acceso al edificio y parte de lo que fue una chimenea de uno de los hornos. No existe ninguna techumbre y sólo en unos pequeños espacios se notan machínales de 12 cm de ancho por 20 cm de alto y 20 cm de profundidad, que marcan el sitio donde alguna vez estuvieron las vigas que soportaban una pequeña cubierta; por consiguiente, la mayor parte del edificio se encontraba a la intemperie.

En la zona de las arcadas el piso está cubierto por una gruesa capa de tierra de 70 cm de espesor, que fue colocada principalmente por las gentes que en los años cuarenta sacaron mercurio para comercializarlo, y en parte por el paso del tiempo. El edificio contaba con un piso de piedra laja de 10 cm de espesor aproximadamente, que posiblemente se conserva debajo de la tierra y que ha sido sacado en partes

por supuestos buscadores de tesoros, lo que ha contribuido al deterioro del edificio (Lara G., 2013).

1.3.2 Daños, deterioros e intervenciones

La hacienda de Ixtoluca, abandonada a finales del siglo XIX, sufrió a partir de este periodo grandes saqueos del equipo industrial utilizado en la obtención de plata, como las ruedas de los molinos, parrillas metálicas utilizadas en calderas, así como herramientas de hierro. Al sustraer dichos elementos las construcciones se vieron afectadas por desprendimientos de materiales y derrumbes, resultado de quienes buscaban sacar todos los metales, minerales y madera que tuvieran algún valor de venta.

En el siglo XX después de haber sido saqueada toda la herramienta posible, continuaron excavando quienes buscaban metales preciosos, como oro y plata, entre ellos los mismos pobladores y gente foránea que viajaba especialmente en busca de metales realizando excavaciones. El piso de piedra laja que se encontraba en la zona de proceso mineral, está dañado en su mayoría por las extracciones realizadas en el inmueble, ya que toda la plata sobrante se acumulaba entre las juntas de las piedras, y existía la posibilidad de encontrar más plata y mercurio metros abajo.

A mediados del siglo XX la hacienda se encontraba en total abandono, hasta la llegada de ejidatarios del poblado El limón, quienes se encargaron de su limpieza, reparación y desalojo de todo escombros existente. Además, repararon el piso que contaba con gran cantidad de excavaciones; sin embargo, ya no fue posible recuperar el piso de piedra de gran parte del casco. En esta primera limpieza ya se encontraban los amates incrustados en la estructura de algunos acueductos, por lo que se decidió mantenerlos para evitar afectaciones a las arcadas (Orellana, 1995).

El INAH en los últimos años ha realizado la restauración de secciones de algunos muros de la hacienda, así como de canales de conducción en los acueductos. Estos

trabajos fueron realizados por etapas y no se hicieron en todas las afectaciones existentes, sino solamente las que se encuentran al interior de la hacienda. También se realizó la limpieza de canales subterráneos y su cisterna, que tiene pocos años de haber sido descubiertos, por lo cual es probable que en el patio de beneficio existan más construcciones subterráneas que desconocemos.

Los elementos arquitectónicos ubicados al exterior de la hacienda, además de tener difícil accesibilidad, están abandonados y algunos han sido derrumbados por el río. El carente mantenimiento es sólo para retirar el material que se desprende de la estructura, así como la limpieza del camino de acceso. Por su parte, el acueducto que cruza el río es uno de los más afectados, por lo que es posible termine por derrumbarse cuando reciba la creciente del río, como también el muro de la presa, los diques y canales enterrados y en el abandono a la llegada de la hacienda.

Capítulo 2

Principios constructivos de los acueductos de mampostería: estabilidad y conducción de agua

Las estructuras históricas de mampostería, como los acueductos estudiados en este trabajo, fueron diseñadas con reglas empíricas basadas en el método de “prueba y error” y a través de la observación de la naturaleza. Estos aprendizajes les ayudaron a desarrollar reglas geométricas que aseguraban la estabilidad de sus construcciones.

En esta investigación es de interés conocer el funcionamiento de los canales y de la estructura en conjunto de los acueductos para transportar el agua, por lo que es importante conocer las distintas funciones de las zonas dedicadas a la molienda, mezcla y lavado, y cómo debió ser la distribución de agua en esos espacios de la hacienda. Al respecto, García Mendoza (2014) explica el proceso en la producción de metales en la hacienda de Ixtoluca, su selección y método de fundición desde que el material está en bruto, así como la obtención de agua, su almacenamiento y el uso que se le daba.

La infraestructura hidráulica está diseñada para la obtención, distribución y uso del agua, por medio de canales de conducción. La construcción de estos canales, los materiales empleados y la pendiente necesaria para obtener la fuerza y control de desplazamiento necesarios en los distintos usos que se le daba dentro de una hacienda minera de plata son presentados en los siguientes apartados.

2.1 Características de los acueductos de mampostería

Las arcadas y los acueductos son los dos elementos que conforman esta investigación. A continuación, son presentados sus antecedentes, conceptos básicos, forma de desarrollo, origen y causas del deterioro estructural. Iniciando con algunos antecedentes de la construcción de estos elementos hasta la actualidad,

que ayuden a conocer su desarrollo y funcionamiento. El significado de acueducto, según la Real Academia Española (RAE, 2014), es el conducto artificial por donde corre el agua a un lugar determinado, con la principal función de abastecer a una población. Proviene de la palabra romana *aqueductus* que significa conducto de agua, el cual debía funcionar por medio de gravedad.

Por su parte, Cardona (2009, pp. 55-56) define al acueducto como un canal artificial construido de piedra o mampostería, que sirve para conducir las aguas a través de un terreno de distinto nivel, y así abastecer agua a una población, que en ocasiones es indispensable elevarlos sobre ríos o valles alcanzando grandes alturas.

Las arcadas consisten en una serie de arcos de mampostería elevados que sirven especialmente para construir puentes o acueductos (RAE, 2014). No deben confundirse con el concepto de arquería, ya que ésta se encuentra cerrada en la parte interna de los claros, que conforman las arcadas; sin embargo, algunos autores las mencionan como arquerías de claros continuos o acueductos de claros consecutivos.

Históricamente se sabe que los mesopotámicos y egipcios inventaron el arco hace unos 6000 años, como recurso para salvar pequeños claros; se debe mencionar que otras culturas como las mayas ya construían arcos acartelados que no generan empujes laterales. El arco funciona como un conjunto de elementos que transmite las cargas dentro de su espesor, hasta los muros o pilares que los soportan, cuando tiene la forma adecuada.

2.1.1 Antecedentes de la edificación de acueductos

En la construcción de un acueducto, como un sistema acoplado de arcos, columnas y canales, se utilizaban principalmente piedras y morteros, con agregados finos y gruesos, por ejemplo: arenas y triturados. El primer paso para la construcción de los acueductos era la búsqueda de una correcta ubicación, donde exista una fuente de agua, como manantiales perennes o ríos que constantemente produjeran una gran cantidad de agua durante el año. Esta región debía tener una pendiente de por lo

menos 1 % (Fernández, 1972), características buscadas por personas que conocían el relieve de la superficie, y herramientas para la búsqueda de pendientes y ángulos, en distintos tipos de terrenos.

Como primer paso, los canales solían excavarlos siguiendo las características topográficas del lugar, buscando siempre las pendientes en la distribución de agua. En ocasiones los túneles en las montañas eran necesarios para evitar ir alrededor de éstas, y conservar la pendiente necesaria en el terreno. Posteriormente cuando el canal debía cruzar un nivel mucho más bajo de lo que venía manejando, era necesario la construcción de un puente con arcadas o arquerías para llevar el agua a través de los valles, lo que actualmente se conoce como acueducto.

En Roma, los canales eran construidos en su mayoría con mampostería, tuberías de plomo y piedra terracota. En sus inicios todos los conductos fueron cubiertos con piedras trituradas y mezclas de mortero, con agregados de yeso que funcionaban como impermeable y protección de la intemperie. A causa de los materiales utilizados, los mantenimientos eran constantes, principalmente por las fugas y escombros que se acumulaban en los canales de conducción (Schmoll, 2010).

Al transportar el agua por grandes distancias y por distintos relieves del terreno fue necesaria la creación de múltiples métodos de conducción del agua, un claro ejemplo es la construcción del acueducto de Gades en España. Esta obra estaba conformada por canales, galerías subterráneas, sifones, pozos de resalto, torres con arcadas, acueductos elevados y un depósito terminal. Su construcción fue realizada con mampostería de piedra, con excavaciones manuales y, en el caso de los elevados, fue utilizado el sistema de apoyos de columnas con arcadas consecutivas, relleno de mortero y piedra triturada. Algunas secciones mantenían tubería y mampostería en secciones subterráneas y consecutivamente canales elevados con torres en arcadas, lo que hizo que este acueducto fuera base de construcciones posteriores.

2.1.2 Características de la mampostería de construcciones antiguas

La mampostería es un sistema constructivo, conformado por piezas unidas con mortero o con juntas secas. Las piezas pueden ser piedras, que junteadas con el mortero, resulta en una mampostería caracterizada por un volumen heterogéneo y de propiedades variables en diferentes direcciones (Huerta, 2004, p. 11).

Existen distintos tipos de mampostería en edificios históricos; dos de las más comunes son las mamposterías de piedra y las de ladrillo. Éstas pueden tener el acomodo de capas e hiladas regulares o con aparejos irregulares con mortero y piedras; otro tipo son las mamposterías de tapial que utiliza muros rellenos de triturados de piedra y aglomerado. También existe el muro creado por los romanos que influyó en el desarrollo de este tipo de estructuras con la llamada mampostería concertada, que consiste en un núcleo de aglomerado de piedra y argamasa, revestido de piedra (Warth, 1903).

Las mamposterías de piedra con morteros de cal llegan a tener un peso volumétrico de hasta 2 t/m^3 (Sánchez, 1995), que es transmitido al suelo, por lo cual las superficies de contacto de las edificaciones son más robustas. Se conoce que el peso de la mampostería de este tipo puede variar, de acuerdo a los materiales pétreos utilizados, principalmente el tipo de piedra de los distintos bancos de piedra existentes (Bonilla Porras, 2013, pp. 23-24).

Uno de los elementos principales en la construcción de mampostería de piedra natural, son las piedras que deben ser elegidas por su resistencia, facilidad de corte en relación con la estereotomía, y principalmente la cercanía que debe tener el banco de piedra a la obra. Cuando esta forma parte de la edificación en el exterior, es necesario que pueda resistir las inclemencias del tiempo como las lluvias, vientos y cambios de temperatura. Se puede deducir que la piedra es el componente más común para las edificaciones históricas, de forma simple o acompañada con mortero. Elegida por su fácil obtención, gran durabilidad y facilidad de ser trabajada, además de su capacidad de resistir el intemperismo.

Otro tipo de piezas utilizadas en mamposterías antiguas es el tabique o ladrillo, fabricado a partir de arcillas cocidas en horno; el uso de dichos elementos remonta

a unos ocho milenios antes de nuestra era en Mesopotamia (Sauvage, 1998). El ladrillo ha sufrido modificaciones en forma, tamaño y fabricación, en donde destacan los secados al sol y los cocidos al horno, que fueron utilizados en grandes cantidades por los romanos. Es considerable mencionar que la tensión de los ladrillos es mucho menor al de las piedras, así como su fragilidad y ruptura (Meli Piralla, 1998, pp. 19-24).

La construcción de mampostería implica el uso de algún material en estado plástico o mortero, que le da continuidad y uniformidad a la estructura. Algunos morteros, al mezclarse con cal adquieren su resistencia por carbonatación al entrar en contacto con el aire, proceso de fraguado que puede llevar años, lo cual ayuda en el asentamiento paulatino de la estructura, adaptándose a las características del suelo. A estos morteros o argamasas en ocasiones le agregaban baba de nopal, utilizada comúnmente en la arquitectura novohispana, y en la unión de tuberías de barro para la conducción de agua en acueductos (Bonilla Porras, 2013, pp. 21-23).

Las juntas de la mampostería tienen un papel estructural muy importante. Para conocer la influencia que tienen los morteros de esas juntas se han hecho ensayos que han concluido cómo la calidad y el tamaño de la junta, además del tipo de mezcla y los materiales utilizados impactan en la estructura en conjunto. El mortero debe tener la propiedad de adherencia para evitar desprendimientos de las piedras o ladrillos en juntas y relleno de huecos (Marv y Mayer, 1902).

Las propiedades estructurales de la mampostería dependen en gran medida del acomodo de los materiales que lo componen, además de las características mecánicas de los mismos y de su grado de resistencia. Según el cementante empleado, los morteros son definidos como de fraguado lento o rápido; los que fraguan con mayor rapidez se endurecen pronto; a diferencia de los de fraguado lento, que son mucho más densos y se endurecen cada vez más, en un periodo de quince a veinte días, utilizado comúnmente en aplanados (Barberot, 1927, p. 33).

El uso de las mamposterías en estructuras se presenta en elementos de grandes dimensiones, y en los que trabajan principalmente con esfuerzos de compresión, como por ejemplo en los arcos, en los que se aprovecha el peso propio del elemento para equilibrar los esfuerzos.

2.1.3 Tipología de los acueductos

Generalmente la solución más utilizada en los acueductos es la de un solo nivel, sin embargo, cuando fue necesario cruzar un desnivel de mayor altura se han puesto arquerías superpuestas, llegando a colocar hasta cuatro niveles; como lo visto en el acueducto de Xalpa, en Tepozotlán, México (Fig. 18). Los tipos de arcos más utilizados son los de medio punto, con algunos casos excepcionales donde utilizaron otras geometrías, por ejemplo, el carpanel de tres centros, el apuntado o el rebajado; ubicados en el acueducto de Tecayec, Morelos (Fig. 19).



Figura 18. Centro Eco-Turístico Acueducto de Xalpa, Estado de México. Web: INAH, 2018.



Figura 19. Acueducto de Tecayec, Morelos. Web: INAH, 2018.

Algunos acueductos tienen los tímpanos huecos que, aunque es poco común, pueden encontrarse en alguna hacienda del estado de Morelos. Este es el caso de la ex hacienda Calderón, en Cuautla, Morelos (Fig. 20), una tipología de gran originalidad, donde el sistema constructivo utilizado fue el de ahuecar los tímpanos encontrados sobre los arcos por medio de otros arcos del mismo radio, de aproximadamente la mitad de su altura. De esta forma se ahorra material y pierde peso el elemento, sistema del que se puede encontrar antecedentes de su construcción en arquerías romanas de algunos de sus puentes. En México encontramos varios acueductos que utilizan esta tipología, por ejemplo, la hacienda de Belén de Pihuano, Veracruz.



Figura 20. Acueducto de la ex hacienda Calderón, Morelos. Web: INAH, 2018.

Algunas soluciones constructivas de los acueductos llegaron a ser de gran originalidad, como los de la hacienda de San Lucas de Matlala en Huaquechula, Puebla, conformados por un cuerpo céntrico compuesto por dos contrafuertes que sirven de apoyo a grandes arcos de medio punto superpuestos. Estas características pueden ser identificadas por grabados antiguos (García Cubas, 1857), que hacen referencia al acueducto romano Pont du Gard.

Los acueductos también se clasifican por su tipo de distribución de agua, de corto alcance y largo alcance, un ejemplo particular es el acueducto de los Remedios,

ubicado en Naucalpan, Estado de México, que inició su construcción en 1620, conduciendo agua por tubos o caños subterráneos, realizados con barro y después cocidos con torres cónicas de cantera labrada, de 8 m de diámetro en la base y 23 de altura. Las arquerías y conductos son de cantera labrada de bloques rectangulares, con un desarrollo de aproximadamente cincuenta arcos de medio punto de 6.70m de luz y el más alto de 16 m, con pilastras con base de 2.05 m por 1.70 m (García, 2011).

En México existen diversos acueductos antiguos que han llegado hasta nuestros días, algunos de gran relevancia e interés histórico, como el desarrollado y ejecutado por el padre Tembleque. Éste inició su construcción en 1545 y se concluyó 17 años después. En el estado de Morelos, los arcos de los acueductos de la ex hacienda de Ixtoluca están compuestos por dovelas de piedras de la región talladas individualmente, para ser colocadas en su respectivo sitio. En el arco de la noria se notan dovelas de mayores dimensiones, con formas irregulares de las piedras donde se notan juntas de mortero más gruesas

y profundas, que puede ser por desprendimiento del material debido al paso de los años, o a que originalmente así fueran construidos. En el arco del molino, uno de los más grandes de la hacienda, se observa un forrado de las dovelas con tabiques, su geometría, así como sus morteros se ven de mejor calidad y conservación. El relleno de los distintos arcos se ve del mismo material de columnas y arranques, definiendo los pesos de acuerdo a lo observado en sitio.

2.2 Métodos para conocer el comportamiento de arcadas

Leonardo Da Vinci (1452-1519) escribió que “el arco no es más que una fuerza causada por dos debilidades: en efecto, el arco en los edificios está compuesto por dos cuartos de círculo, y cada una de dos, débil por sí mismo, desea caer, pero oponiéndose cada uno a la ruina del otro, las dos debilidades se transforman en una sola fuerza, por lo tanto, los cuartos se empujan mutuamente” (Valéry, 2015).

En el siglo XVI Rodrigo Gil de Hontañón fue uno de los maestros constructores en

interesarse en conocer el funcionamiento de los arcos y bóvedas; para ello realizó cálculos empíricos con fórmulas y reglas geométricas con el fin de calcular las dimensiones de estos elementos y sus apoyos. Todos los trabajos de los constructores precursores de siglos pasados son necesarios para comprender los principios básicos utilizados y determinar las dimensiones de arcadas como las estudiadas en este trabajo. Posteriormente en el siglo XVII, se planteó científicamente el problema del arco con la catenaria invertida, utilizada en el dimensionamiento de estribos.

En el año de 1675 Robert Hooke describe el comportamiento del arco: “la verdadera forma, matemática y mecánica que todos los tipos de arcos en los edificios, con el adecuado contrarresto necesario para cada uno de ellos”. Haciendo referencia como cuelga un cable flexible, así invertidas, manteniendo las piezas de un arco, con el mismo funcionamiento que existe entre la catenaria y su forma. Posteriormente en el año de 1697, David Gregory concluye que “la legitima forma de un arco no es otra que la catenaria” llegando a la conclusión que cualquier otra.

La primera aplicación de la estática al arco es realizada por La Hire (1640-1718), utilizando un polígono funicular para analizar el comportamiento del arco, calculando geoméricamente los pesos que deberían tener las dovelas del arco para asegurar su estabilidad. Una teoría desarrollada posteriormente por Coulomb (1736-1806) determinando los límites superiores e inferiores del empuje necesario, para garantizar la estabilidad, que fue desplazada conforme nuevos materiales empezaron a sustituir a la piedra.

El cálculo de líneas de empuje surge de 1830 a 1840, la cual incluye la teoría de Hooke dentro de la de Coulomb, donde son utilizados diferentes métodos para la obtención de las líneas de empuje (Vargas Palma, 2004). “Las estructuras se proyectaban con bases exclusivamente empíricas, a partir de la extrapolación de construcciones anteriores y de la intuición basada en la observación de la naturaleza, siendo esta la base de gran número de estructuras muy eficientes y que llegan a un grado extremo de refinamiento en cuanto a su funcionamiento estructural, analogías que se cree fueron utilizadas en el pasado” (Meli Piralla, 2002).

2.2.1 Métodos tradicionales para el diseño de arcadas de mampostería

En Mesopotamia hace 4000 a.C. se comenzó a utilizar el arco como puente, y la sucesión de arcos las llamadas arcadas para puentes de mayor longitud, construido por ladrillos y posteriormente por piedras en Egipto. Después Vitruvio trabajó en el dimensionamiento y construcción de arcos de menor tamaño, por medio de 7 dovelas en donde las juntas constructivas convergen en el mismo centro. La práctica de realizar distintos arcos de pequeñas dimensiones adquirió la capacidad de construir puentes por medio de arcadas, deduciendo que los empujes podrían ser consecutivos a lo largo de las arcadas, hasta anularse en los extremos (Heyman, 1999, pp. 33,34).

En la Edad Media se han realizado reglas e informes sobre la traza de geometrías góticas y puentes medievales, que introducen al diseño y trazado de arcos de mampostería. Por ser varias las proporciones y reglas que pueden aplicarse en los arcos, es necesario citar a los autores más importantes que trabajaron en métodos tradicionales sobre arcos y arquerías (Romero de Terreros, 1949, p. 43). Los tratadistas que desarrollaron reglas para determinar las dimensiones de arcos y sus apoyos, como los que integran las arcadas de los acueductos, son pocos. La mayoría de ellos presenta reglas para arcos y contrafuertes, como Martínez de Aranda, Rodrigo Gil de Hontañón.

Martínez de Aranda (1556-1620) presenta reglas para dimensionar el ancho de los estribos en arcos, en relación a las dimensiones del claro. Posteriormente Derand en su tratado publicado en 1643, realiza una regla geométrica para calcular el espesor de las columnas de los arcos, utilizando las bases de Martínez de Aranda trazando el claro del arco y el trazo de una circunferencia en el intradós del arco (Fig. 21), donde fácilmente podemos encontrar el ancho adecuado para un claro conocido de un arco de medio punto, apuntado y rebajado. Derand propone utilizar estas reglas en arcos consecutivos, siempre y cuando los empujes laterales estén totalmente anulados (*Derand, 1643*).

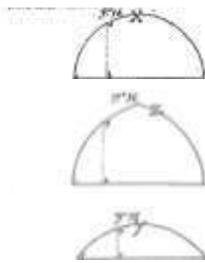


Figura 21. Cálculo de estribos en distintos arcos, regla de Derand en tratado de Martínez de Aranda.

En el renacimiento Alberti (1404-1472) trabaja con reglas divididas en arcos, bóvedas y puentes, estas reglas toman en cuenta el acomodo y dimensión de las dovelas, buscando siempre un equilibrio en toda la estructura, por ejemplo, en la fig. 22 la décima parte del claro debe ser el ancho de las dovelas del arco y para el ancho de las columnas recomienda máximo de un cuarto y mínimo de un sexto del claro seleccionado, las columnas deben ser apoyadas sobre zapatas con el doble de su ancho, explicando que los soportes consecutivos en los puentes funcionan para que los arcos anulen los empujes en sus dos extremos (Huerta Fernández, 2004, pp. 191-198).

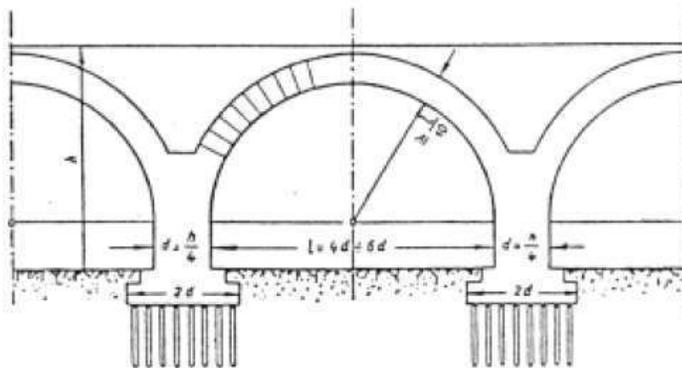


Figura 22. Reglas de proporción de Alberti, aplicadas en puentes.

Palladio (1508-1580) realiza un tratado para puentes conformados por arcos, su principal regla está basada en la de Alberti, y encontró relaciones proporcionales que explican el espesor de la columna como $\frac{1}{4}$ del claro del arco, y el ancho promedio

de las dovelas como $1/12$ del claro o $1/6$ cuando la ubicación de los puentes o acueductos se vean comprometidos por empujes laterales, principalmente por la corriente de un río. También él fue de los primeros en comentar las distintas formas de distribuir el agua sobre los acueductos, señalando que entre las más importantes están aquellas que conducen el fluido por canales superiores de la mitad del ancho de sus columnas, así como incorporación de tuberías laterales que ayudan a rigidizar la estructura.

En el mismo periodo, Juanelo Turriano (1500-1585) precursor de la arquitectura hidráulica, desarrolló algunas reglas estructurales. La hidráulica es el arte de conducir y aprovechar las aguas, o de construir obras debajo de ellas (Schoklitsch, 1935) y para ello, las reglas creadas por este tratadista están enfocadas en detalles, rellenos, acomodo de dovelas, dimensiones, juntas entre los boques de piedra y la forma de conducir las aguas adecuadamente. Aplica un intervalo de variación posible para las columnas, máximo de $1/4$ y mínimo de $1/6$ del claro entre las dos columnas.

En el siglo XVI Rodrigo Gil de Hontañón fue el arquitecto español más importante, con varios tratados estructurales entre ellas reglas para arcos (Fig. 23). Es bueno aclarar que las dos primeras que se muestran en el Anexo 3 son para arcos de medio punto, las siguientes son nombradas como “reglas generales para disminuir las columnas”, se obtienen las alturas mínimas del arco y ancho de la columna, utilizando las líneas de arranque y geometría del arco, que ayudan a marcar circunferencias y radios para conocer el ancho de las columnas (Huerta Fernández, 2004, pp. 204-246).

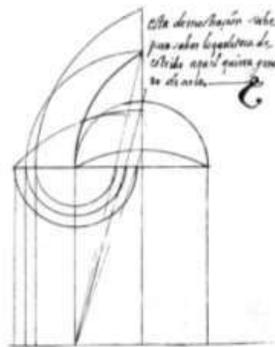


Figura 23. Regla I de Rodrigo Gil de Hontañón, para cualquier tipo de arco.

Proceso de trazado para conocer el ancho de los apoyos.

De los tratados de arquitectura y construcción de arcos más importantes del siglo XVII en España, se encuentra el de Fray Lorenzo de San Nicolás (1593-1679), buscando cómo realizar el arco de medio punto más fuerte y estético, llamado por el cómo “el más perfecto”, varias de sus reglas fueron aplicadas en arcos de conventos, puentes y acueductos, de las más representativas es el cálculo del ancho de columnas por medio de la doceava parte del claro (Nicolás, 1736).

Por otra parte, los anchos de los apoyos fueron siempre un tema interesante, en el tratado de Simón García (1649-1697), explica que a mayor peso del puente la proporción del claro debe ser mayor, que va de 1/6 a 1/3 del claro entre apoyos (Rodríguez Méndez, 2012).

En el siglo XVIII los tratados como los del padre Tosca, García Berruguilla, Gautier y Plo y Camín se enfocan en obtener estructuras más esbeltas, retomando tratados sobre los espesores de arcos de medio punto, así como recomendaciones de materiales a utilizar (Fig. 24). Gautier (1660-1737) es uno de los primeros en explicar lo que sucede con el empuje de fuerzas, cuando existen dos vanos adyacentes con claro similar en puentes, y concluye; “no hay duda de que las pilas de los puentes soportan la mitad de la fábrica en los empujes que están a sus lados, tomándola desde la mitad de las claves” (Gautier, 1716, p. 177).

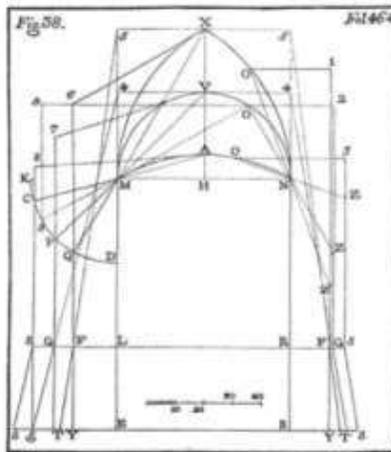


Figura 24. Proceso para conocer ancho y altura de estribos, Plo y Camín 1767.

Conociendo los métodos tradicionales del diseño de los arcos, arcadas y puentes, fue necesario comenzar a investigar sobre los materiales utilizados, principalmente la piedra. Al respecto, a finales del siglo XVIII Henri Gautier (1660-1737) fue de los primeros en insistir que el tipo y tamaño de las piedras que serán utilizadas en arcos estarán en función del tamaño del claro, espesor y altura de los arcos. Tratados llevados a representaciones gráficas en 1717, donde muestra las diferencias entre piedras blandas y duras en; estribos, columnas y arcos (Gautier, 1716, p. 178).

Es posible que durante el siglo XIX se utilizaron este tipo de reglas para la construcción de arcos, puentes y acueductos, utilizadas de manera sencilla entre constructores de la época, para una aplicación práctica. Funcionando como base y primera prueba antes de aplicar cálculos científicos, como el análisis de rotura, de equilibrio y en el último cuarto de siglo el análisis elástico en puentes y arcos de mayor longitud. Algunas reglas fueron evolucionando hasta la actualidad, de forma que aún se siguen aplicando en pequeñas construcciones, donde es necesario el predimensionamiento de una arcada, respaldado por todas las edificaciones de siglos anteriores que continúan en pie. Es importante mencionar que las reglas antes mencionadas fueron utilizadas en elementos de mampostería, como arcos, puentes y posiblemente en acueductos por tener características geométricas similares (León & Goicolea, 2016, pp. 157-160).

2.2.2 Método de equilibrio límite en arcos de mampostería

Philippe de La Hire (1640-1718) es de los primeros en estudiar el equilibrio en los arcos en su segundo trabajo titulado Tratado de Mecánica, con el interés de conocer el tamaño de los soportes en los arcos. El principal problema planteado fue conocer el peso de las dovelas, de tal forma que se mantuviera en equilibrio en ambos extremos, siendo él uno de los precursores del polígono de fuerzas que posteriormente fue conocido como polígono funicular, utilizado en los arcos.

Importante mencionar que este autor considera superficies de contacto entre dovelas infinitamente pulidas, con el peso aplicado en su centro de gravedad en

La línea de empujes dentro del arco de mampostería, seguía sin ser aclarada del todo, en 1879 Winkler tras la revisión de las teorías existentes concluyó que el cálculo elástico era la mejor opción; sin embargo, dejó en claro que existían otros factores que podían modificar el funcionamiento y la ubicación de la línea de presiones como la cimbra y juntas de mortero utilizadas. Considerando posteriormente la necesidad de agregar articulaciones en los apoyos al momento de ser construidos (Fig. 26) (Huerta, 2005, pp. 75-77).

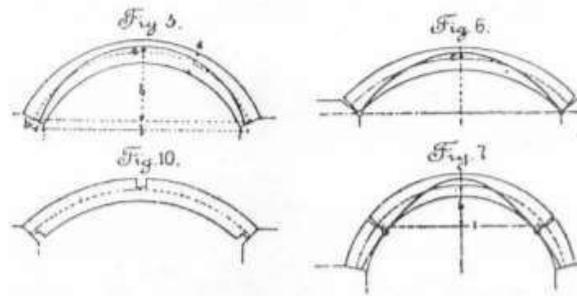


Figura 26. Desplazamiento de la línea de presiones por distintos apoyos (Winkler, 1880).

El cálculo de líneas de presiones es una herramienta para evaluar la estabilidad y la seguridad de una estructura de mampostería, que puede servir como un instrumento complementario o como una base para análisis más complejos. Sin embargo, el cálculo de las líneas de empuje era todavía demasiado largo para ser utilizado como una herramienta habitual hasta el año de 1870, cuando fue de gran utilidad para arquitectos e ingenieros.

Los teoremas fundamentales del análisis límite son los siguientes: 1) La mampostería tiene una resistencia a compresión infinita; 2) La resistencia a tensión es nula; 3) El fallo por deslizamiento es imposible. Estos principios en combinación con los equipos de cómputo actuales y los métodos numéricos avanzados, han proporcionado herramientas poderosas para analizar y evaluar construcciones de mampostería. Por ejemplo, estos principios fueron utilizados por Andreu (2006), quien desarrolló una técnica para la evaluación de construcciones de mamposterías por medio del modelado de estructuras tridimensionales, con esqueletos por medio de cadenas virtuales sometidos a cargas arbitrarias (Roca, 2010, pp. 7-9).

Actualmente, con la existencia de sistemas de cómputo más eficientes, es más sencillo analizar los arcos de mampostería, sin embargo, pueden presentarse algunos inconvenientes al momento de realizar el análisis cuando se toma en cuenta su comportamiento no lineal; por ejemplo, el identificar la geometría, los materiales y las propiedades mecánicas.

2.2.3 Métodos de análisis en estructuras de mampostería.

La mampostería está formada a base de piezas muy variadas en su composición física y resistencia, como rocas, adobe y tabiques unidos con morteros de cal, morteros de barro o con juntas secas. La diversidad de elementos que la componen y su acomodo entre ellos hace difícil su análisis, particularmente por su comportamiento altamente no lineal. Por ello existen distintos métodos que nos ayudan a conocer su comportamiento ante diversas acciones, que van desde cálculos sencillos, hasta la resolución de ecuaciones no lineales (Lopez, 1998). A continuación, se describen brevemente los métodos utilizados para estudiar el comportamiento de estructuras de mampostería de edificios históricos: análisis elástico lineal, análisis no lineal y análisis límite.

El análisis elástico lineal utilizado comúnmente en el cálculo de estructuras contemporáneas se ha aplicado en construcciones históricas de mampostería de grandes dimensiones con buenos resultados para el diagnóstico preliminar de su condición estructural. Un ejemplo de aplicación de este método es el análisis de la catedral metropolitana de la ciudad de México realizado por Meli y Sánchez (1995, pp. 123-140) donde se modelaron geometrías complejas y localizaron las zonas sujetas a mayores esfuerzos de tensión. Este tipo de análisis no nos puede ayudar a conocer su comportamiento cuando el material se agrieta o aplasta.

El estudio del comportamiento no lineal requiere análisis más complejos que, a diferencia del análisis elástico lineal, son capaces de conocer cómo se comporta una estructura desde el rango elástico lineal, pasando por el agrietamiento, aplastamiento del material y finalmente, la falla (Lourenco, 2003, p. 129). Este

método ayuda a entender el comportamiento y daño estructural, sin embargo, para su revisión y comprensión es necesaria una consulta especializada; además de mayor cantidad de datos del material, que en mamposterías históricas son difíciles de conocer. Por lo tanto, el análisis no lineal es complejo desde la búsqueda de los datos hasta la interpretación de sus resultados.

Por su parte, el análisis límite permite conocer la carga que lleva a la estructura hasta la falla, partiendo de las siguientes hipótesis del comportamiento de la mampostería: la resistencia de compresión del material es infinito, el deslizamiento de los materiales es imposible y la resistencia a la tensión se considera nula. En la actualidad este método es una herramienta eficaz, que de manera realista nos ayuda a conocer la seguridad y el mecanismo de colapso probable de estructuras de mampostería, es una herramienta complementaria que sirve de guía para análisis más completos, ya que con este método no podemos conocer cómo va evolucionando el comportamiento de la estructura desde el inicio de la aplicación de la carga hasta que colapsa.

Finalmente, las herramientas para el análisis de estructuras desarrolladas en la actualidad gracias a los avances de las ciencias computacionales con el uso de métodos numéricos, como el método de elementos finitos, el método de elementos discretos o el método de elementos rígidos, entre otros, ofrecen la posibilidad de hacer análisis de tipo elástico lineal y no lineal de estructuras con geometrías complicadas y materiales de comportamiento complejo, como la mampostería de edificios históricos. En el método de elementos finitos se usan macro o micro modelos donde las propiedades mecánicas del material son consideradas de manera general o detallada, respectivamente. Por su parte, en el método de elementos discretos el modelado de la estructura se considera como el conjunto de distintas piezas que interactúan entre sí a lo largo de sus bordes, estableciendo así un estudio detallado del contacto entre bloques (Roca, 2010, pp. 7-23); este método es muy útil cuando se estudian estructuras formadas por grandes elementos de piedra (columnas, esculturas, templos griegos o romanos) en el que es posible considerar el movimiento relativo entre elementos y el cambio de geometría (Peña, 2010, p. 50).

Una herramienta más antigua y práctica es el cálculo de líneas de presiones de manera gráfica que, siguiendo las hipótesis del análisis límite, permite entender cómo se transmiten las cargas dentro de una estructura de mampostería y es posible conocer posibles condiciones de equilibrio. En el capítulo 5 y en el anexo 4 se explica con más detalle el procedimiento de cálculo y se aplica en los acueductos de la hacienda de Ixtoluca.

2.3 Conducción de agua en acueductos de mampostería

El uso de agua en civilizaciones de la antigüedad fue de vital importancia, tanto en México con los mayas, aztecas y tlahuicas, como con otras culturas de diversas partes del mundo, entre ellas, los egipcios e incas. Estas civilizaciones aportaron diseños y sistemas de conducción que siguieron utilizándose hasta la actualidad.

El origen del acueducto fue producto del desarrollo de técnicas para la captación y distribución de agua que se dio aproximadamente hace siete mil años en Mesopotamia. El objetivo de esta civilización fue la de acumular agua en tiempo de escasez, para posteriormente distribuirla mediante canales de conducción, con el fin de utilizarla en la agricultura y en actividades diarias. La importancia que tuvo la distribución de agua en las antiguas civilizaciones hizo que se asentaran los primeros poblados cerca de corrientes o extensiones de agua. Esto sucedió con los sumerios, acadios, asirios y babilónicos, quienes idearon diferentes sistemas según fuera su ubicación geográfica. Hay algunos casos de acueductos subterráneos, construidos por medio de tuberías de barro y otros que son elevados sobre muros (Gioda, 1997, pp. 34-36).

Los canales subterráneos artificiales, creados en el cercano oriente, fueron utilizados para llevar aguas subterráneas a la superficie mediante la gravedad (Fig. 27). Esta tecnología tradicional fue introducida en México al inicio del virreinato, sin embargo, algunos autores señalan que el origen es prehispánico, por las evidencias de las también llamadas galerías filtrantes de América Latina, *pozería* en Puebla,

El uso del sifón también fue utilizado en aquellos casos donde las circunstancias no eran posibles o viables para el solo uso de la gravedad (Fig. 28). Los sifones funcionan en forma de vasos comunicantes, compuestos de un canal descendente, uno horizontal y uno ascendente. Cada tramo tiene diferentes características: el descendente debe tener mayor diámetro para adquirir una mayor fuerza, el tramo horizontal evita el cambio violento de presión y ayuda a mantener la fuerza en el canal ascendente, de tal forma que cumpla con el cometido de sobrepasar niveles (Salcedo, 1993, p. 48).

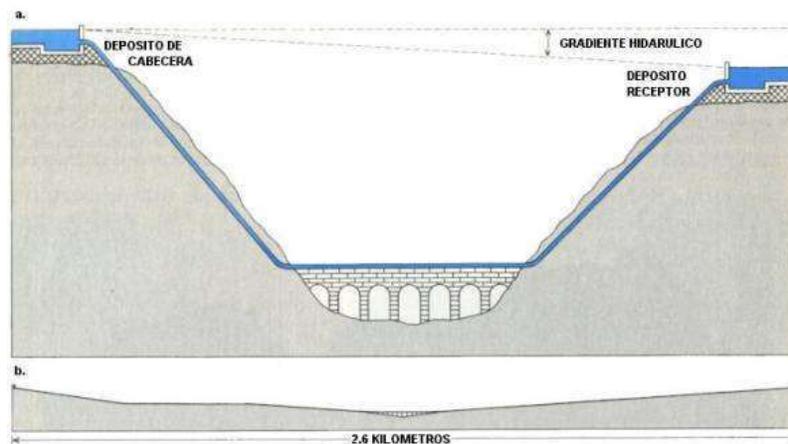


Figura 28. Sifón Romano: con escala exagerada se muestra el recorrido en U; el depósito receptor era más bajo que la cabecera. Sifón de Beaunant y sistema de Gier (Salcedo. 1993. p. 76).

Roma ha sido identificada por la historia como la ciudad con las aportaciones más importantes en construcción de acueductos a base de arcadas y arquerías; algunos de estos elementos con extensiones de más de 60 km o con arcadas de dos niveles. Los primeros problemas con los que contaban los canales exteriores no eran estructurales, sino por los ataques de los enemigos quienes bloqueaban o envenenaban el curso de agua. Por ello se optó por cubrirlos con un tejado de barro o piedra, construidos subterráneamente, con el sistema de *qanats* y el uso de sifones subterráneos para su flujo continuo.

Otro sistema más avanzado usado por los romanos fue el almacenaje el agua en cisternas para distribuirlo con fines de uso público y privado, por medio de tuberías

de cerámica y plomo en distancias cortas y sobre terreno firme. El correcto funcionamiento de este sistema era producto del buen mantenimiento y de las reparaciones continuas a las que era sometido; hacían limpieza periódica de los canales, evitando obstrucciones y el empeoramiento de la calidad de agua. Además, al realizar una revisión continua se podía cancelar cualquier tipo de tomas no autorizadas en su trayecto (Palencia, 2009, pp. 12-14).

Estos acueductos no eran construidos en su mayoría en línea recta, sino que su trazo se caracterizaba por tener algunos quiebres, reduciendo así la fuerza y velocidad que el agua obtenía en su trayecto. Esto tenía como fin que el agua no llegara con sedimentos mezclados; este proceso era terminado en cisternas, dónde el agua era depositada y las impurezas se asentaban en el fondo por el efecto de la gravedad, así el agua superficial era la utilizada en los siguientes procesos. También buscaban evitar la excesiva velocidad de agua por la presión sobre las paredes de conducción, que podría llevar grandes gastos en mantenimiento, así como peligros de desbordamientos.

Los acueductos de la época romana son descritos por Fuente María de Jesús (1999. Pp. 23,24) como: “una de las construcciones más grandes y magnificentes de la arquitectura romana. Sus propias ruinas dan idea de su extraordinaria importancia. Aunque eran conductores de agua, tenían una forma similar a la de los puentes, es decir, el conducto de agua estaba sostenido por grandes arcos, a veces a una altura considerable, con curvas que se adaptaban a la superficie del terreno, con el fin de trasladar agua de manera correcta”

En la construcción de los acueductos se le daba importancia al trazado y la curvatura de los mismos. Con el paso de los años, se comenzaron a construir acueductos de mayores extensiones a causa de la búsqueda de nuevas fuentes hídricas cuando incrementó el crecimiento de la población. Por ejemplo, en el río Tiber en Roma ya no era suficiente para el abasto necesario de la ciudad, la búsqueda de nuevos sitios implicaba encontrar agua saludable y con una ubicación estratégica, ya que podría ser envenenada fácilmente. Sin embargo, la pendiente puede variar de tramo en tramo, como consecuencia de las diversas condiciones ambientales, sistema constructivo y topografía de los terrenos en donde se desplante (Mezquiriz, 1992,

pp. 4-6).

Vitrubio (2004, Pp. 110) indica en el libro VIII, la metodología que probablemente fue utilizada para encontrar las fuentes hídricas más viables; ahí se señala que estaba basada en la observación de la naturaleza, es decir, tomaban en cuenta el tipo de vegetación, el terreno, su configuración y el grado de humedad en el suelo. Correcciones tecnológicas mencionadas por Vitrubio, como lo mencionado en su libro de arquitectura VIII; que la pendiente debía ser fijada en 0.5%, mientras que Plinio aconsejaba un valor mucho menor.

Por otra parte, en Mesoamérica el agua fue de profundo respeto por parte de los indígenas, lo que es mostrado en códices prehispánicos, donde puede observarse que en su cosmovisión consideraban a la naturaleza y, en particular al agua, como algo sagrado. Este fue el caso de la cultura mexicana, con el dios Tláloc, así como la cultura maya, con el dios Chaahk (Barrios, 2009, pp. 8-11). En el gran territorio y gran diversidad de culturas prehispánicas en Mesoamérica, el agua tuvo una influencia importante y por ello, tuvo un avance importante la técnica hidráulica desarrollada por esas culturas.

Sistemas hidráulicos en haciendas mineras

Los sistemas hidráulicos utilizados en la mayoría de las haciendas mineras son similares a los encontrados en otros tipos de haciendas. La forma de transportar agua de fuentes naturales al interior de estos inmuebles fue el reto principal. Una característica importante en la distribución de agua dentro de una hacienda minera es la pendiente dada a los canales de conducción que están sobre los acueductos. Esto lo lograban utilizando depósitos intermedios o aumentando la largura y anchura del conducto; con ángulos y, en ocasiones con sifones, evitaban la excesiva velocidad del agua que podría llevar grandes gastos en mantenimiento o desbordamientos peligrosos, así como el mal funcionamiento de los molinos y trituradores.

Arquitectónicamente las haciendas están constituidas por una serie de edificios y sistemas hidráulicos cuyas características y dimensiones dependían del tipo de

actividad que desarrollaban. Como ejemplo, en las haciendas mineras era necesario un flujo constante de agua, para los procesos de limpieza de los metales. La infraestructura física de las primeras haciendas mineras consistía en un sistema básico de canales de distribución y pozos de almacenamiento. Posteriormente se utilizaron aljibes o sifones de acuerdo al aumento de la producción y topografía del lugar.

En el caso de haciendas dedicadas a producir metales, el agua en los hornos fue indispensable, tanto para enfriar los metales como la amalgama; o como en el caso de la hacienda de Ixtoluca, el agua sirvió además para mover el molino. Para favorecer la autonomía y rentabilidad de las haciendas de beneficio mineral, era indispensable contar con ríos en su territorio que se desviaban hacia enormes presas que alimentaban las acequias y canales de mampostería. Existieron latifundios que, al carecer de un río cercano, era necesario conducir el agua desde puntos muy alejados para acceder al agua, como en la hacienda de Tenango, Estado de México, cuyos acueductos llegaron a tener 37 km de longitud (Terribas, 2015).

Entre las haciendas mineras más importantes del centro del país, se encuentra la de San Juan Bautista en Taxco, con una de las más ingeniosas formas de conducción de agua, que consiste en canales entre muros, llamados intramuros, donde el agua es conducida desde el acueducto principal hasta los molinos del mineral y los patios con estanques de almacenamiento. Para el molido de las piedras de mineral existían los de tracción animal y los movidos por agua, de tal forma que las corrientes naturales de agua cerca de la hacienda eran indispensables.

Existieron algunos otros sistemas hidráulicos de gran originalidad como el de la hacienda de San Lucas de Matlala, Puebla, que consiste en un cuerpo central de dos contrafuertes y arcos, que en conjunto da la impresión de un molino de rueda de grandes dimensiones. Otro acueducto de abastecimiento importante es el de los Remedios, Estado de México, que por su gran diferencia de nivel y pendiente mayor al 2%, es de los pocos acueductos del país que conducía agua por tubos o caños subterráneos de barro, con sistema de sifón para salvar la depresión de la topografía del lugar (de las Casas & García, 2011, pp. 12-14).

Capítulo 3

Acueductos de la ex hacienda San Jacinto Ixtoluca

Los acueductos de esta ex hacienda productora de plata abastecieron de agua al inmueble en los diferentes procesos que existieron para obtener el producto final. Uno de los más importantes fue la trituración del mineral, en el cual era necesario el empleo de un molino movido por agua que llegaba por acueductos elevados y a nivel de piso. Otros procesos no menos importantes, fueron la fundición o azogue y el lavado del mineral como un método para la separación de los lodos, en los que también era utilizada gran cantidad de agua (García Mendoza, 2014).

La infraestructura hidráulica a base de acueductos dentro de la hacienda de Ixtoluca tenía conexión con los patios de beneficio, molinos y lavaderos de metal, que debían ser abastecidos continuamente por agua con un flujo adecuado para su correcto funcionamiento. Además de ser indispensables desde los inicios de su construcción, para la mezcla de los aglomerados utilizados para la creación de mezclas y actividades de la vida diaria de sus constructores.

3.1 Características de los acueductos de la hacienda: geometría, materiales y sistemas constructivos

La hacienda cuenta con diversos acueductos dentro y fuera de sus instalaciones; el de mayor longitud es el acueducto que transporta agua desde la presa hasta la hacienda, de aproximadamente 1000 m de largo, con una pendiente promedio del 1.9 %. A lo largo de su trayecto existen canales a nivel de suelo y canales elevados por medio de arcadas de medio punto para librar la corriente de un río; cabe señalar que este acueducto es de los más afectados en toda la hacienda.

El agua que llega a la hacienda se recibe en una cisterna de forma rectangular, de 6m de ancho, 7.20 m de largo y 1.92 m de alto, que posteriormente conduce el agua por un canal a nivel del suelo hacia el casco de producción del mineral, con un ancho de 32 cm y alto de 20 a 35 cm. Este canal fue descubierto en el año 2014 por investigadores del INAH-Morelos, durante sus visitas de campo. Al recorrer 95 m, el

canal llega a dos acueductos de distribución, uno alimenta el primer molino y la única noria; y el segundo, a los demás acueductos y molinos.

La noria tiene una altura de 4.90 m, y debajo de ella la cisterna tiene una altura de 1.80 m, de largo tiene 4.90 m y 0.80 m de ancho. Cuenta con un arco de medio punto en su única arcada de forma paralela al acueducto de abastecimiento; su geometría es de gran exactitud, ya que los muros y columnas se encuentran con un buen plomo y nivel, la curvatura del arco es lograda por medio de ladrillos tallados individualmente. Al centro del arco se encuentra el ducto de proporciones irregulares por donde se conducía el agua para el filtrado de plata que posiblemente fue de sección rectangular.

Entre las condiciones de los tres molinos hidráulicos de la hacienda, son notables sus características constructivas y estructurales; estos espacios consisten en un cuarto alto, de 6 m de ancho y 12 m de largo, con claro interior de 1.20 m y muros de 60 a 80 cm de ancho, con aplanados de cal en el exterior e interior, sin la existencia de las ruedas del molino. De igual manera, los acueductos utilizados en la distribución al interior del inmueble se observan en buenas condiciones y sus características constructivas pueden observarse con facilidad por la pérdida de aplanados (Fig. 29).



Figura 29. Acueducto de desagüe, zona oriente de la hacienda. Foto propia 2016.

Para la construcción de los acueductos fueron utilizados los materiales pétreos de la zona, principalmente piedras del río Cuautla, combinada con piedra caliza y algunos tabiques de medidas irregulares que posiblemente fueron realizados en obra. Para tener cerca los materiales necesarios para la fabricación de la hacienda fue necesaria la recolección de piedra del río, así como la piedra caliza que se

incorporó en los muros de mampostería, que probablemente se extrajo fuera de la región de la Mezquitera y no lejos de Ixtoluca, ya que esa zona cuenta con una gran cantidad de bancos de piedra de diversos tipos (Fig. 30).



Figura 30. Noria construida con materiales de la región. Foto propia 2016.

La gran cantidad de lajas de piedra caliza de aproximadamente 10 cm de espesor ayudó en la construcción del piso del casco de la hacienda, que en la actualidad se encuentra enterrado; pero gracias a las excavaciones realizadas por el INAH en algunas zonas se puede observar este piso de piedra laja bajo una gruesa capa de tierra, similar al que se encuentra en el camino llamado el limonero, ubicado en el acceso de la hacienda. En menor cantidad, es posible que la piedra arenisca o volcánica fuera obtenida durante el proceso de construcción cuando realizaron las excavaciones para los canales o cisternas (Fig. 31).



Figura 31. Cisternas construidas con diferentes materiales a los utilizados en los acueductos. Foto propia 2016.

El casco de la hacienda con muros gruesos que oscilan entre 80 y 110 cm de espesor muestra una arquitectura austera y de grandes dimensiones que utiliza el arco de medio punto en todos los acueductos. Estos elementos están soportados por gruesas columnas de bases cuadradas del mismo espesor cada una. En las arcadas ubicadas al interior de la hacienda hay unos elementos que funcionan como contrafuertes, de sección transversal hueca y de mayores dimensiones que las columnas de los acueductos, de 120 por 120 cm. Este tipo de elemento estructural está presente en la arcada de la noria, donde el arco está apoyado en una columna hueca que sirve para la conducción de agua.

En el área de beneficio del inmueble no existe ninguna cubierta, ya que se han perdido, pero se puede observar en dos cuartos ubicados en el primer molino, unos huecos a lo largo de las arcadas, de mechinales que soportaban vigas de madera sobre las que debió estar la cubierta. Los huecos o mechinales también son visibles en el muro de contención de la zona norte, el cual nos sugiere la existencia de una serie de vigerías que daba soporte a una estructura o cubierta más pequeña.

En síntesis, la construcción está compuesta de gruesos muros, columnas y arcos de medio punto contruidos de mampostería de piedra de la región, principalmente caliza y laja utilizada en muros y pisos (Fig. 32); mientras que, en las bodegas, en su mayoría, existe piedra de río. Por otra parte, los canales de conducción y cisternas mantienen otro tipo de acabado al del resto de la construcción, con aplanados de pasta de yeso, además del uso de tezontle en algunos tramos. Muchas de estas secciones están sobre el nivel de piso y tienen poco tiempo de haber sido descubiertos, por lo que podemos pensar que es posible encontrar más elementos arquitectónicos o industriales bajo las capas de tierra que aún no se ha retirado en la gran parte del patio de beneficio.



Figura 32. Cuarto de molienda hidráulica. Foto propia 2016.

Observando el desplante de los muros de los molinos, se puede observar que la cimentación se realizaba por el engrosamiento de los muros, creando unas zapatas corridas de mampostería. Por ejemplo, en las columnas de las arcadas, se encuentran cimentaciones de la misma forma que las columnas, pero de mayores dimensiones. En algunos muros y arcadas se desconocen las dimensiones y características de la cimentación; al respecto, García Mendoza (2015) menciona que las zapatas siguen la antigua regla del aumento del 10% de la sección transversal, que reduce la forma en que las cargas van al suelo.

3.2 Función de los acueductos en el proceso industrial de la hacienda

Los acueductos exteriores e interiores de la hacienda tenían varias funciones, entre ellas, la de conducir el agua desde la presa hasta la hacienda. En este trayecto encontramos tramos de acueductos elevados y otros a nivel de piso; ambos de grandes dimensiones, con el fin de lograr el flujo adecuado para abastecer de agua a la hacienda, ya que ésta se encuentra en un nivel superior al del río que la rodea. Al llegar el agua a la hacienda el primer punto fue el llenado de cisternas, posteriormente con un acueducto subterráneo y a nivel de piso, con la pendiente necesaria, abastecía al primer molino impulsado por agua que volvía a quebrar el mineral hasta reducirlo a media pulgada aproximadamente (García Mendoza, 2014, pp. 2-3).

De este punto, parte de agua se dividía a una serie de acueductos superiores que alimentaban otros molinos y distribuían los residuos de plata a lavaderos para un último filtrado y recuperar todo lo posible. La función de los acueductos de la hacienda era la de distribuir correctamente el agua por los tres molinos existentes (Fig. 33), así como el abastecimiento de agua para la limpieza del mineral en bruto y lavado final. Posteriormente el agua ya utilizada era conducida a lavaderos o pozos de reposo, donde todos los residuos pudieran ser asentados para ser recuperados (García Mendoza, 2014, pp. 5-9).



Figura 33. Molino de la zona poniente. Foto propia 2016.

Es importante mencionar que toda el agua que ingresaba y era utilizada en la hacienda en distintos procesos para la obtención de metales y actividades de la hacienda, era reincorporada al río nuevamente, aprovechando la distribución del ramal en el interior de la hacienda. Sin embargo, el agua ya utilizada, contaba con metales pesados resultado del uso de mercurio como un sistema de separación de la plata, uno de los principales problemas con las comunidades vecinas.

3.3 Estado actual de los acueductos de la hacienda

La hacienda se encuentra en una zona turística de bajo impacto, por ello se ha logrado conservar sin muchas intervenciones recientes. Uno de los espacios que han tenido pocos cambios son las bodegas de depósito de los minerales, de 35 m de largo y 8 m de ancho; están compuestas por cinco habitaciones de planta cuadrada de 6 m de lado y tiene muros gruesos de mampostería que sostienen cubiertas con bóvedas de cañón corrido. De las cinco bodegas, tres se encuentran en buen estado, con dos de sus bóvedas agrietadas en su interior, por ello hay algunos refuerzos de madera colocados por quienes cuidan el lugar.

La nave principal donde se efectuaba el procesamiento del mineral se encuentra en buen estado, y está compuesta de un edificio rectangular de 130 m de largo y 28 m de ancho aproximadamente. Sus muros perimetrales tienen 85 cm de ancho y 6.50 m de altura en promedio. Se conservan los tramos de acueducto que dividen el edificio en 12 crujías perpendiculares de diferentes medidas. En el acceso se encuentran unas escaleras bien conservadas que están adosadas a una chimenea que servía para los hornos, la cual se encuentra afectada con algunos daños.

Hay tres construcciones que fueron destinadas para el funcionamiento de molinos, norias y cubos contenedores de ruedas de conducción de agua, que servían para el proceso de separación mineral. Al lado de esta zona se encuentran tres lavaderos en buenas condiciones colocados en un espacio cuadrado de 12 m de lado, los cuales se encontraban hasta hace poco enterrados, por lo que es probable la existencia de otros más en la zona de molinos.

De una entrevista con el ejidatario encargado de la ex hacienda sabemos que hace 15 años aproximadamente se construyeron tres lavaderos más para la extracción de mercurio y dos cisternas de piedra y concreto. Estos trabajos fueron efectuados por unas personas que utilizaron las ruinas del casco como criadero de cerdos en sus últimos años de funcionamiento. En la actualidad estos tres lavaderos son utilizados como albercas cercanas a un amplio jardín para acampar, formando parte de un atractivo más para el lugar de quienes lo visitan. En la mayor parte de la hacienda no se conserva nada de herrería, balcones, barandales, marcos y ruedas de molino, sólo hay algunas puertas de madera, vigas y escaleras.

Según el certificado parcelario núm. 44389, actualizado en febrero de 2012, los terrenos que aún pertenecen a la ex hacienda son 3.3 hectáreas, que en su mayor parte son tierras áridas, con escasez de árboles y una gran cantidad de arbustos espinosos. La gran superficie de la ex hacienda hace que su mantenimiento sea difícil y, por ello, sus intervenciones mínimas; es probable que su estado se vea afectado durante los próximos años si no es planteada una manera de conservación por parte de los ejidatarios y público en general.

3.3.1 Daños, e intervenciones recientes en los acueductos

Los ejidatarios y pobladores de Ixtoluca han tratado de reparar algunas áreas del inmueble que han ocasionado daños en diversas partes del acueducto. Entre los trabajos realizados están las labores de recuperación en el interior de la hacienda para evitar el deterioro y la destrucción de los canales dentro de la hacienda. Debido a que en la época de ejecución de estos trabajos no existía regulación de las intervenciones en edificios históricos, fueron derribadas algunas partes importantes del acueducto de abastecimiento. Posteriormente, quienes cuidaban el inmueble repararon los daños ocasionados en la hacienda; algunas reparaciones se realizaron de manera adecuada, con materiales, técnicas y sistemas constructivos apropiados. Sin embargo, existen algunas secciones, como las escalinatas y andadores con intervenciones de materiales inadecuados para un edificio histórico.

Cuando se desmantelaron las maquinarias y los elementos metálicos que formaban parte de los instrumentos para los molinos, se dañó gran parte de los muros de mampostería de los cubos de molienda, así como parte de los arcos. Fueron reparados por parte del ayuntamiento del municipio de Tlaquiltenango, quien realizó trabajos de mantenimiento y deshierbe, para evitar la proliferación del mosquito del dengue; además de la limpieza del río Yautepec para desalojar la basura almacenada por la corriente. Otras labores realizadas por las autoridades del ayuntamiento han consistido en el retiro de grafitis y la aplicación impermeabilizante y herbicida en los muros de acceso de la hacienda.

Vegetación en muros y arcadas de los acueductos

Los acueductos, molinos y arcadas tienen incrustados amates amarillos que conforme iban creciendo, tomaron la forma que vemos hoy en día, de tal manera que las raíces parten desde su base, hasta la parte superior; dejando a relucir su gran follaje arriba de las distintas arcadas (Fig. 34). Los amates tienen una edad de aproximadamente 17 años, de acuerdo a las fotografías propiedad de los ejidatarios, quienes cuidan y dan mantenimiento al inmueble.



Figura 34. Amate amarillo adosado en acueducto. Foto propia 2016.

Los amates son uno de los atractivos más importantes del lugar, y estando incrustados a las arcadas de varios acueductos resulta difícil su remoción sin afectar la construcción. Estos árboles son podados y limpiados frecuentemente en su raíz y follaje para evitar el desprendimiento de los materiales, la raíz de este árbol cubre la estructura y las oquedades que son rellenadas por su corteza. De esta forma no se realizan grandes desplazamientos de la estructura ni vertical ni horizontalmente; es importante procurar cortar las ramas conforme van creciendo para evitar grandes pesos que puedan afectar a los acueductos.

La vegetación existente le da un toque especial al lugar, siendo ya uno de los atractivos más característicos de la hacienda de Ixtoluca, ya que es una de las pocas haciendas que cuentan con este tipo de árboles en su estructura. Por este atractivo esta zona ha sido utilizada para sesiones fotográficas, videos musicales, eventos sociales y de gobierno. Por ello, es importante el continuo mantenimiento de árboles y vegetación existente que evite el daño o ponga en peligro a sus visitantes.

3.3.2 Normatividad e intervenciones en estructuras con vegetación

Como se mencionó en el apartado anterior, los amates y la vegetación presentes en la hacienda tienen grandes impactos en la conservación de las arcadas, y de los tipos de trabajos necesarios en un monumento histórico de este tipo. La UNESCO señala que los monumentos son obras arquitectónicas, que tienen un valor universal excepcional desde el punto de vista de la historia del arte o de la ciencia. Existen varios manuales aprobados por las instituciones encargadas de la conservación de monumentos históricos que mencionan el tratamiento a la flora invasiva en construcciones y monumentos históricos.

Las podas, que pueden ser una práctica sencilla, deben ser realizadas de manera correcta y a tiempo, implicando una inversión de dinero. Uno de los primeros pasos más importantes al momento de intervenir la flora, es analizar la estructura del árbol, la cual es la distribución, fuerza y balance en conjunto de las ramas, fuste y raíces, que permite un crecimiento libre y saludable. Un árbol con una buena estructura debe tener las siguientes características:

- 1) No debe tener ramas que crecen a la par del fuste.
- 2) Sin daños en la corteza, que muestre fracturas o desprendimiento de la mayor parte del fuste.
- 3) Las ramas deberán estar espaciadas, dándole a la copa un balance del peso del árbol en su totalidad.

Las podas se clasifican de acuerdo a los objetivos que se buscan: existen las sanitarias, de seguridad y las de conformación. De manera general las podas buscan reducir los daños y promover la seguridad de la gente, teniendo en cuenta que no debe removerse más de una cuarta parte o a lo máximo, la tercera parte de la masa total del año del árbol. Antes de realizar las podas es necesario observar muy bien sus partes más importantes: raíces, troncos, ramas principales y el resto del follaje, pues cualquier actividad realizada al árbol afectará no solo al árbol mismo, si no a su entorno (Macías Sámano, 2010, pp. 5-6).

La restauración y la conservación de cualquier monumento, es un campo que requiere la colaboración de distintas ciencias y técnicas que pueden contribuir al estudio y la permanencia del patrimonio monumental. Estableciendo las intervenciones más adecuadas de acuerdo al grado y tipo del deterioro de los monumentos, siguiendo los lineamientos que marcan las distintas cartas de conservación e intervención de monumentos históricos, tanto nacionales como internacionales.

Capítulo 4

Estudio de las bases del diseño de la estructura y de la conducción de agua de los acueductos de Ixtoluca

En este capítulo se estudia el estado de equilibrio de las arcadas ante su peso propio, así como el diseño de las pendientes para conducir el agua desde la presa hasta el interior de la hacienda y su desagüe. También son estudiadas las bases de trazado y construcción de los acueductos, seleccionando tres secciones para calcular al menos una línea de presiones, entre todas las posibles que puede haber en estos elementos; así como el estudio de la forma de conducción del agua desde la presa hasta el interior de la hacienda, revisando las pendientes y geometría de los canales.

4.1 Estudio estructural de las arcadas de la hacienda

Los acueductos formaban parte de los canales conductores de agua para molinos, de la noria de filtración y del canal para el desalojo de agua. Éstos, son elementos estructurales hechos de mampostería de piedra, cuyas piezas se encuentran unidas mediante un aglomerado de mortero de cal, con un peso aproximado de 2 t/m^3 que puede variar de acuerdo al tipo de piedra. Por lo tanto, las columnas de los acueductos, que tienen hasta una altura de 8 m y sección de 1 m por 1 m tienen un peso en la base de aproximadamente 16 t/m^2 (Bonilla Porras, 2013, pp. 23-25).

Al conocer las características de la mampostería y la volumetría de los acueductos, se decidió elegir tres secciones dentro de la zona de producción que tienen diferentes dimensiones en columnas, radios de arcos y espesores de dovelas, así como distintas alturas. La primera sección elegida es una crujía de los acueductos de desagüe; la sección dos es el acueducto del molino; y la tercera, es la noria de filtrado, que se encuentra al inicio del acueducto de abastecimiento. Al elegir estos tres acueductos, se abarcan todas las tipologías de estos elementos en la hacienda por la gran similitud que tienen los arcos en los acueductos de desagüe con los demás.

El estudio estructural con el método de equilibrio límite, considera la geometría del elemento y la trayectoria que sigue su peso hacia la cimentación. La aplicación de este método en las tres secciones de acueductos elegidos y los resultados obtenidos permiten conocer junto con las reglas estructurales tradicionales su comportamiento y la forma cómo fue concebida su estructura.

4.1.1 Métodos tradicionales utilizados en las arcadas de la hacienda

A continuación, se aplican en los tres tramos de acueductos elegidos como casos de estudio, algunas reglas de tipo geométrico descritas en el capítulo 2 para determinar las dimensiones de arcadas; éstas fueron desarrolladas en el periodo comprendido entre la época medieval y el siglo XVII. Al final de este apartado también se hace este estudio en el acueducto de la hacienda san Antonio Chiconcuac, ubicada cerca de la hacienda Ixtoluca. Es un inmueble construido en la misma época, pero con dimensiones más robustas; el objetivo es comparar los resultados de acueductos de la misma zona con características muy diferentes.

Una de las reglas consideradas en este apartado es la publicada por Derand en 1643. Se aplicó en la sección 3 (Fig. 35), donde el trazo, que toma en cuenta el claro y una circunferencia con su diámetro, nos da como resultado un ancho de los apoyos de 1 m, que al ser revisado con la medida real del elemento de 1.10 m confirma la posible aplicación de esta regla.

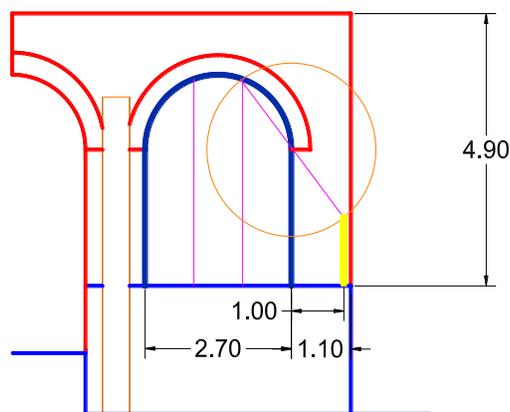
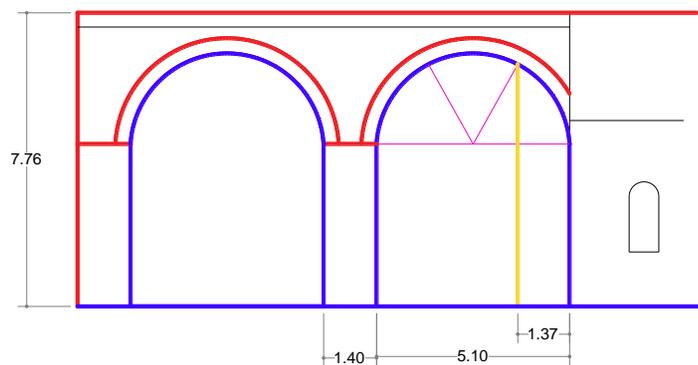


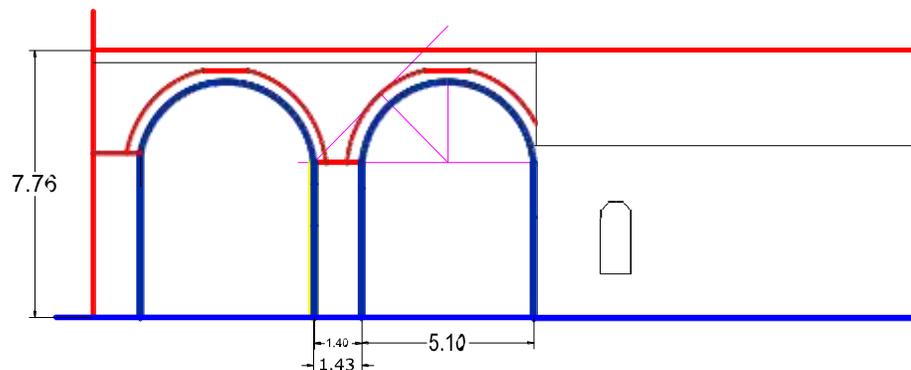
Figura 35. Primera regla de Derand aplicada en sección 3. Realización propia

AutoCAD 2017.

Respecto a la sección 2 (Fig. 36), la primera regla que se acerca a sus dimensiones es la de Martínez de Aranda, utilizada para conocer el ancho en apoyos de arcos. El acueducto revisado cuenta con dos arcadas que, en sus extremos, son soportadas por el molino y por un contrafuerte. Por ello la regla se revisa en el apoyo intermedio, el cual nos da 1.37 m de ancho de columna, similar a las dimensiones reales. En la misma sección se encontró que es posible aplicar la segunda regla de Hernán Ruiz, conocida por el trazo de la tangente del arco; ésta nos da un ancho de 1.43 m similar a los 1.40 existentes (Fig. 37).



*Figura 36. Regla de Martínez de Aranda, para dimensionar apoyos, en sección 2.
Realización propia AutoCAD 2017.*



*Figura 37. Regla 2 de Hernán Ruiz para predimensionar columnas en sección 2.
Realización propia AutoCAD 2017.*

La regla de León Battista Alberti se aproxima a las dimensiones de la sección 1 del acueducto de Ixtoluca. El ancho de las columnas que debe ser entre $1/4$ y $1/6$ es el correcto, así como el ancho de las dovelas de $1/10$ del claro (Fig. 38). Posteriormente, estas reglas fueron retomadas por Palladio y Juanelo Turriano, estableciendo la de $1/4$ para puentes y $1/6$ para acueductos, que al realizar el trazado en la sección de desagüe del acueducto de Ixtoluca son muy cercanas (Fig. 39).

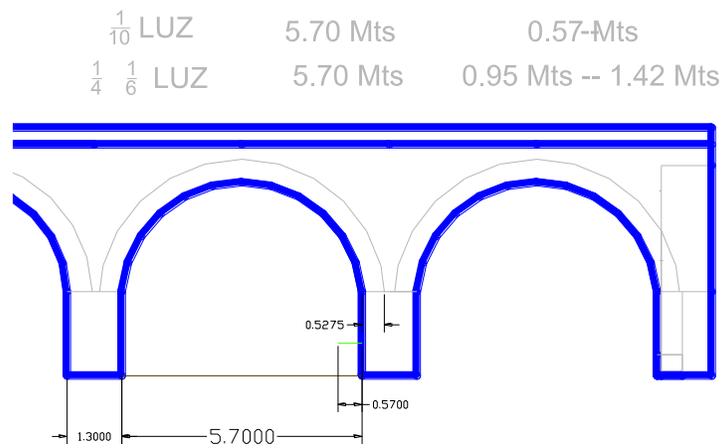


Figura 38. Regla de León Battista Alberti en sección 1. Realización propia AutoCAD 2017.

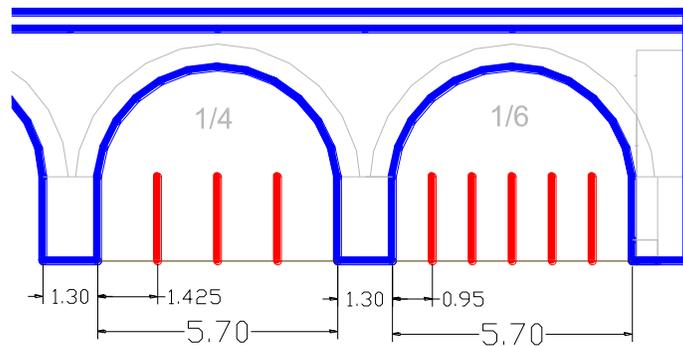


Figura 39. Regla de Turriano con divisiones del claro, en sección 1. Realización propia AutoCAD 2017.

La regla I de Rodrigo Gil de Hontañón (Fig. 40) coincide con las dimensiones de las columnas de las secciones de los tres acueductos elegidos de la hacienda. Esta misma regla también fue comparada con los apoyos del acueducto de la hacienda de San Antonio Chiconcuac, donde se encontró una diferencia de 14 cm. La regla IV de Gil de Hontañón, aplicable a cualquier tipo de arco, es cercana a las dimensiones de las secciones 1 y 3, tomando en cuenta el apoyo de la columna hasta la parte baja del depósito de la Noria (Fig. 41).

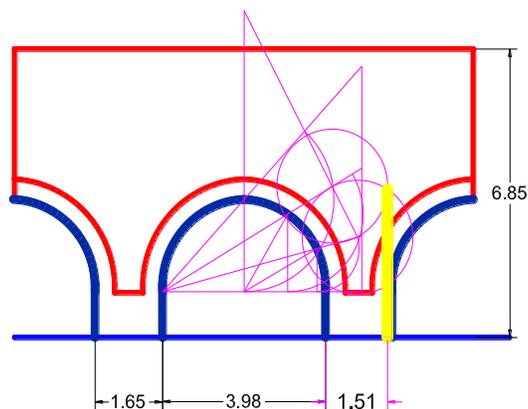


Figura 40. Regla I Rodrigo Gil de Hontañón, en acueducto de hacienda Chiconcuac. Realización propia AutoCAD 2017.

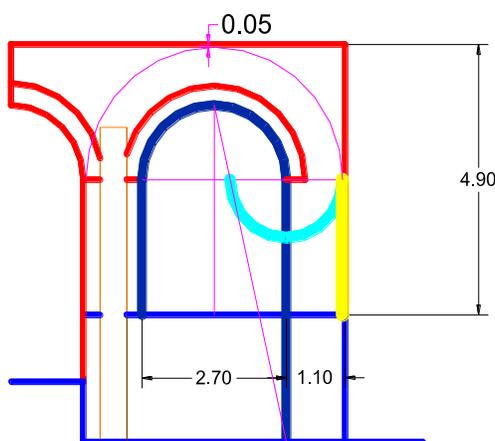


Figura 41. Regla IV de Rodrigo Gil de Hontañón, en sección 3. Realización propia AutoCAD 2017.

La regla de Fray Lorenzo de San Nicolás (Fig. 42) aplicable principalmente para el uso de puentes, se acerca a las dimensiones de los apoyos de las tres secciones de los acueductos, debido a su gran margen que va de 0.85 m a 1.75 m; sin embargo, esta regla está mucho más alejada de los apoyos del acueducto de la ex hacienda San Antonio Chiconcuac. Simón García también aportó reglas para el dimensionamiento de los espesores de columnas (Fig. 43), las cuales fueron muy cercanas a las columnas de las secciones 2 y 3 de los acueductos de Ixtoluca.

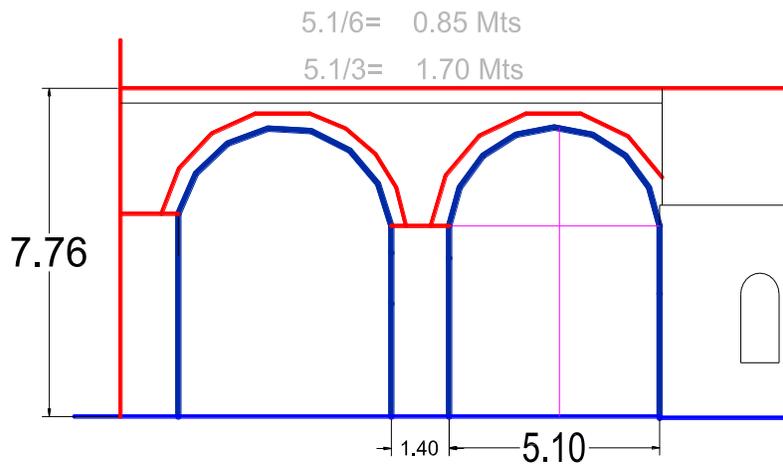


Figura 42. Regla de Fray Lorenzo de San Nicolás, en la sección 2.

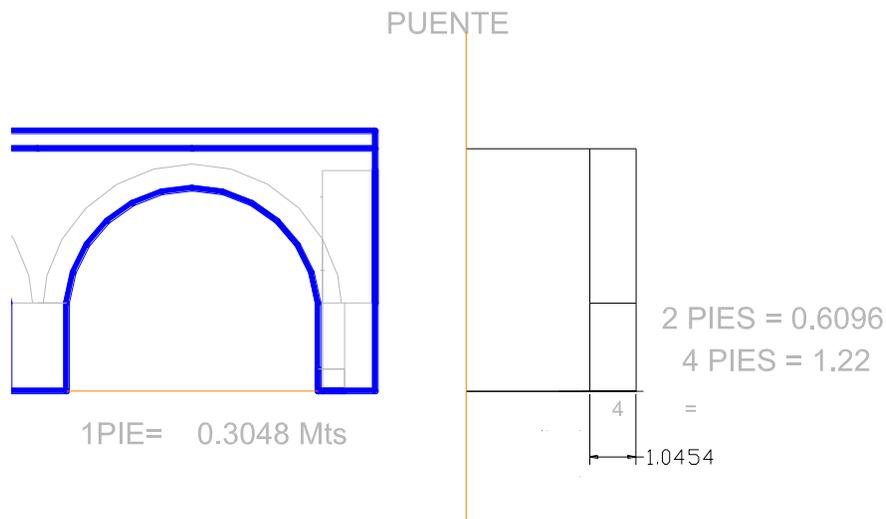


Figura 43. Regla Simón García, en sección 1. Realización propia AutoCAD 2017.

La mayoría de las reglas antiguas de tipo geométrico consideradas en este capítulo sirven para el predimensionamiento del ancho de los apoyos de arcos; algunas son para cualquier tipo de arcos y otras más para ser utilizadas exclusivamente en puentes. En el anexo 3 se describen con mayor detalle los trazos de las reglas que estuvieron más cercanas a las dimensiones reales de los acueductos estudiados de la ex hacienda de Ixtoluca. Encontramos mayor cercanía a los trazados de estas reglas antiguas en el acueducto de la sección 1, y el de menor coincidencia en la sección 3; por su parte, la noria de filtrado con unas dimensiones más robustas a los otros.

4.1.2 Estudio del equilibrio de las arcadas de la hacienda

En este subcapítulo se analizan las tres secciones de los acueductos de la hacienda que fueron elegidas por sus características geométricas y estructurales. El primer tramo estudiado corresponde a los acueductos de desagüe y la llamaremos acueducto número 1, el cual puede observarse marcado en color rojo en la (fig. 44). Este tramo forma parte de la distribución final que va hacia los lavaderos y posteriormente se reincorpora al río Cuautla. Uno de los extremos de esta sección colinda con el muro de contención, donde está el cambio de nivel; y en el otro extremo, por el lado sur, hay una columna de desagüe que funciona como un contrafuerte (Fig. 45, 46 y 47).

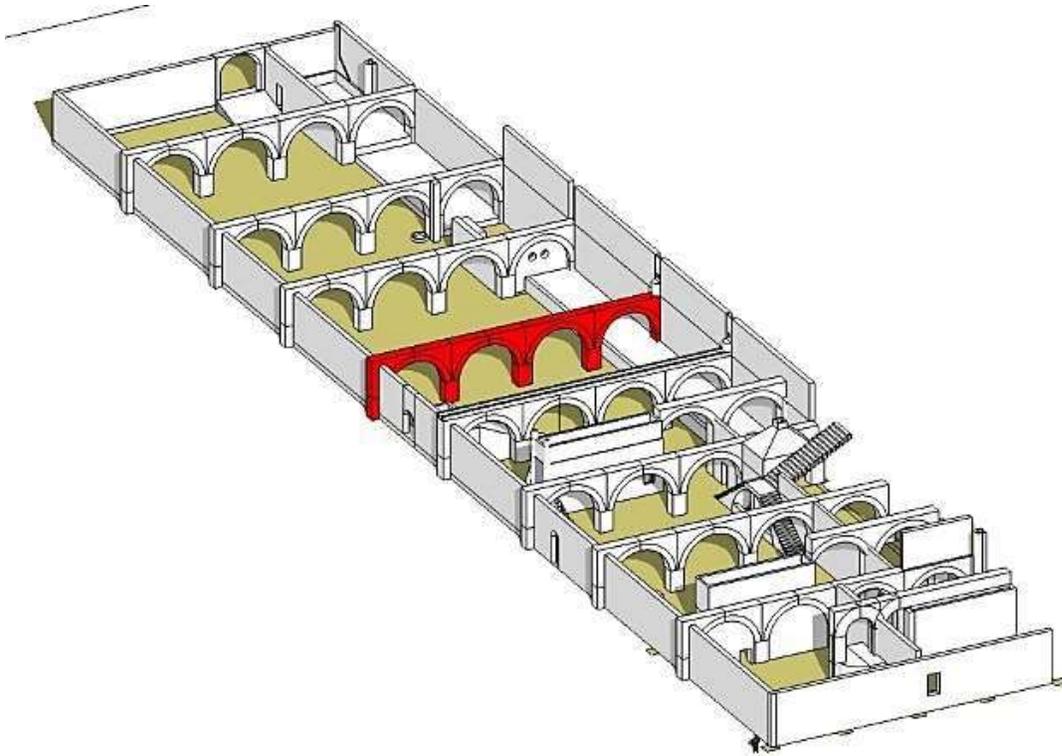


Figura 44. Sección número 1, acueducto de desagüe. Realización propia Sketchup 2017.

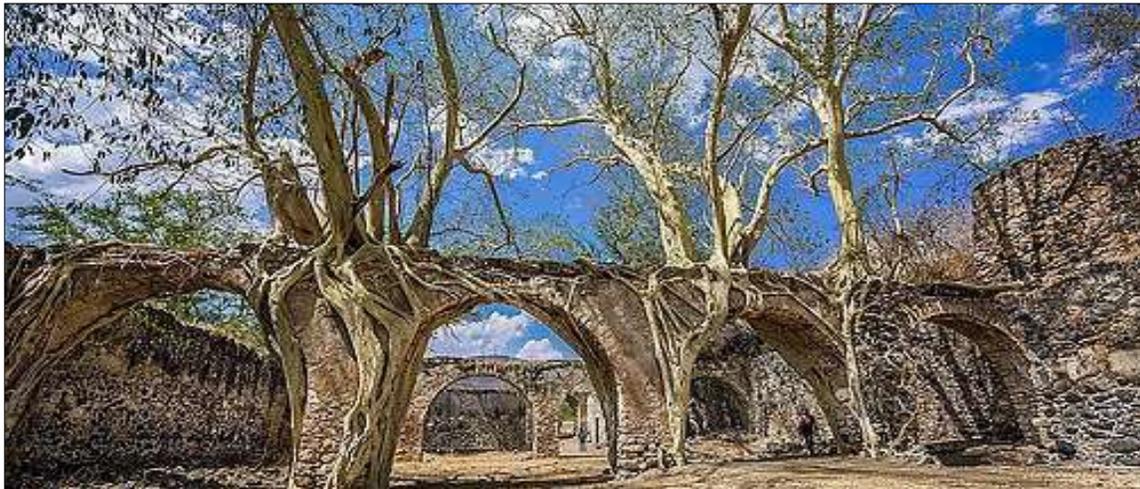


Figura 45. Sección número 1, vista Oriente a Poniente. Foto propia 2016.



Figura 46. Sección número 1, vista Poniente a Oriente. Foto Sergio Nava 2016.



Figura 47. Sección 1. Foto Sergio Nava 2016.

En la sección 1 sólo se toma en cuenta una arcada debido a que los tres siguientes tramos son iguales. Sus dimensiones son de 3.45 m de largo, altura libre de 4.60 m y dovelas con 1.16 m de peralte, incluyendo el relleno. Para el cálculo de la línea de presiones el claro se divide en cinco secciones verticales, incluyendo el peso del relleno a las dovelas; la columna se analiza como una sola sección, tomando en cuenta un peso volumétrico de las dovelas de 1900 kg/m^3 y de relleno de 1600 kg/m^3 (Tabla 3).

Tabla 3. Peso en cada sección, acueducto 1.

Secciones	Área (m ²)	Ancho (m)	Volumen (m ³)	Peso volumétrico (kg/cm ²)	Peso dovelas (kg)
1	0.304	1.05	0.319	1900	606.28
2	0.315	1.05	0.331	1900	628.23
3	0.341	1.05	0.358	1900	689.49
4	0.397	1.05	0.417	1900	792.61
5	0.573	1.05	0.602	1900	1142.94

Relleno	Área (m ²)	Ancho (m)	Volumen (m ³)	Peso volumétrico (kg/cm ²)	Peso relleno (kg)	Peso total (kg)
1	0.359	1.05	0.377	1600	602.78	1209.06
2	0.411	1.05	0.431	1600	689.81	1318.03
3	0.524	1.05	0.550	1600	879.65	1560.14
4	0.712	1.05	0.748	1600	1195.49	1988.10
5	1.01	1.05	1.061	1600	1696.80	2839.74

Distancia	Largo (m)	Momento (kg.m)
1	3.17	3832.73
2	2.60	3426.89
3	2.03	3167.09
4	1.46	2902.63
5	0.89	2527.36
	Momento Σ	15856.70

Altura (m)	RX (kg)
2.96	5356.99

	Área (m ²)	Ancho (m)	Volumen (m ³)	Peso volumétrico (kg/cm ²)	Peso total (kg)
Columna	1.924	1.05	2.02	2400	4848.23

Con la suma de momentos y el cálculo de las reacciones se puede obtener gráficamente la línea de presiones que pasa a través de las dovelas, y su trayectoria hasta llegar al suelo (Fig. 48). Como se puede observar en la figura 48, correspondiente a una parte de la sección 1 y la figura 49 con todas las arcadas, la línea de presiones está dentro de toda la sección y en los extremos cuenta con un muro de contención de poco más de 1.20 m de espesor, y en el otro extremo, una columna que funciona como contrafuerte de 1.20 m de ancho (Fig. 49).

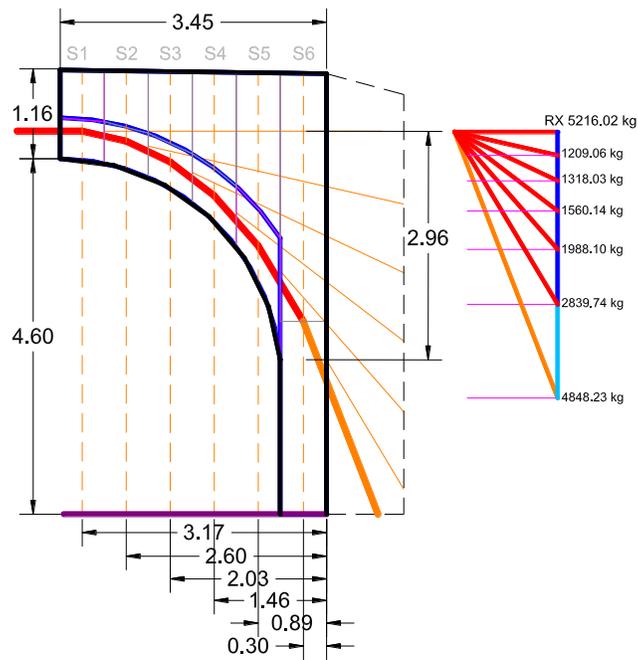


Figura 48. Línea de presiones acueducto 1. Elaboración propia AutoCAD 2017.

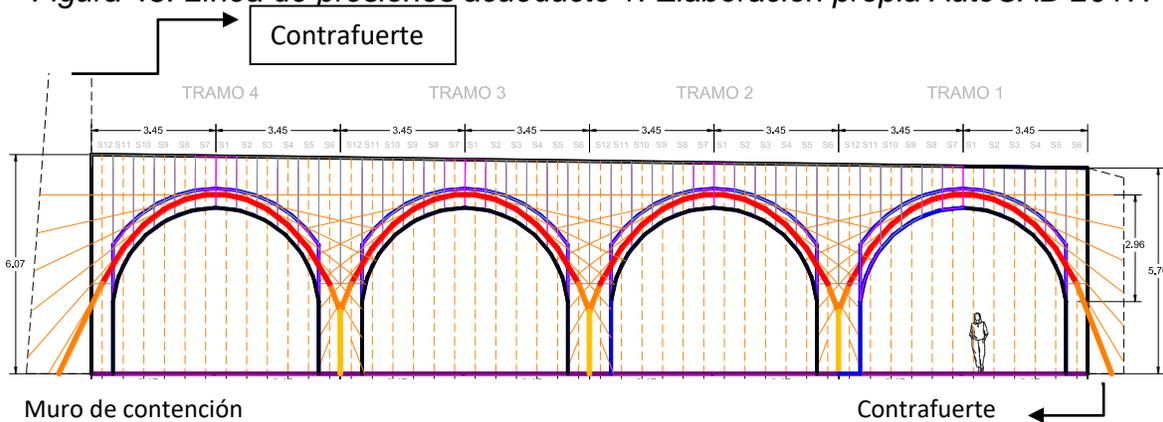


Figura 49. Desarrollo líneas de presiones acueducto 1. Elaboración propia AutoCAD 2017.

La segunda sección es el molino, que se llamará acueducto 2 (Fig. 50): consiste en las dos arcadas más altas de la hacienda adosadas a un espacio de doble altura, donde se encuentra la rueda del molino para el enfriamiento. En la mampostería de este elemento se puede observar una mayor cantidad de tabiques en su composición si la comparamos con la del acueducto 1. En el extremo norte se encuentra un gran montículo de relleno, y del lado sur se encuentra el cuarto del molino. Estas características hacen interesante el análisis y el estudio de su comportamiento (Fig. 51, 52).

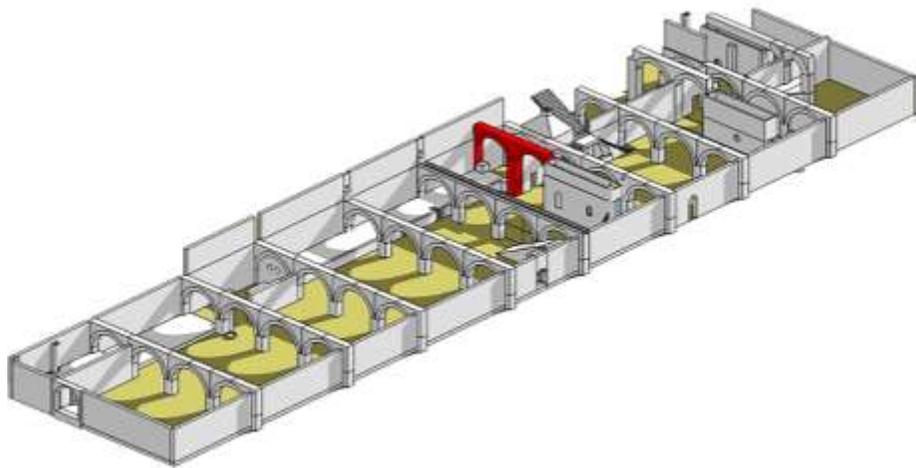


Figura 50. Sección de acueductos 2. Elaboración propia sketchup 2017.



Figura 51. Sección 2 vista poniente a oriente. Foto propia 2017.

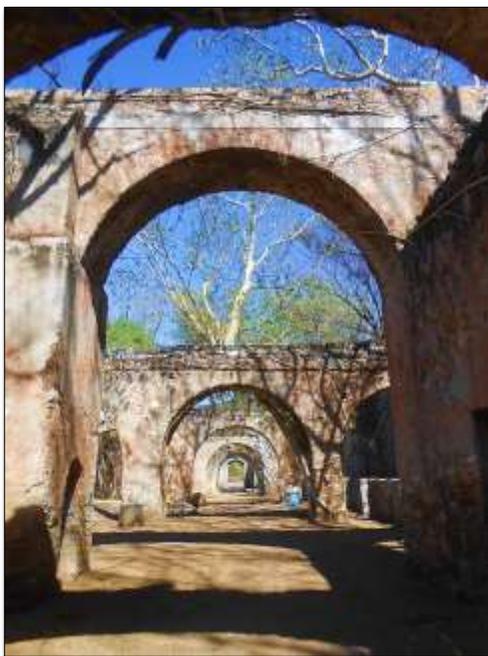


Figura 52. Vista oriente a poniente. Foto propia 2017.

Para el estudio del acueducto número dos se toma la mitad de la arcada, dividiéndola en siete secciones y en dos, la parte que corresponde a la columna, agregando a las dovelas el peso del relleno y las columnas analizadas de forma completa (Tabla 4). Tomando en cuenta un peso volumétrico de 1900 kg/m^3 en dovelas, 1600 kg/m^3 en relleno y en columnas de 3200 kg/m^3 como peso máximo, por la continuidad que tiene con el cubo del molino que es de mampostería de piedra (Fig. 50,51).

Tabla 4. Peso total en cada sección, acueducto 2. Elaboración propia 2016.

Secciones	Área (m ²)	Ancho (m)	Volumen (m ³)	Peso volumétrico (kg/cm ²)	Peso dovelas (kg)
1	0.203	1.1	0.224	1900	425.11
2	0.162	1.1	0.178	1900	338.16
3	0.168	1.1	0.185	1900	351.96
4	0.180	1.1	0.198	1900	375.36
5	0.198	1.1	0.218	1900	414.45
6	0.233	1.1	0.256	1900	486.75
7	0.327	1.1	0.360	1900	683.43

Relleno	Área (m ²)	Ancho (m)	Volumen (m ³)	Peso volumétrico (kg/cm ²)	Peso relleno (kg)	Peso total (kg)
1	0.327	1.1	0.360	1600	575.52	1000.63
2	0.272	1.1	0.300	1600	478.72	816.88
3	0.304	1.1	0.334	1600	535.04	887.00
4	0.353	1.1	0.389	1600	621.28	996.64
5	0.422	1.1	0.464	1600	742.72	1157.17
6	0.517	1.1	0.569	1600	909.92	1396.68
7	0.649	1.1	0.714	1600	1142.24	1825.67

Distancia	Largo (m)	Momento (kg.m)
1	3.03	3031.90
2	2.63	2148.40
3	2.28	2022.35
4	1.93	1923.52
5	1.58	1828.32
6	1.23	1717.92
7	0.88	1606.59
	Momento Σ	14279.00
	Altura (m)	RX (kg)
	2.70	5288.52

Columna	Área (m ²)	Ancho (m)	Volumen (m ³)	Peso volumétrico (kg/cm ²)	Peso total (kg)
1	0.928	1.1	1.021	3200	3267.97
2	1.172	1.1	1.288	3200	4120.86

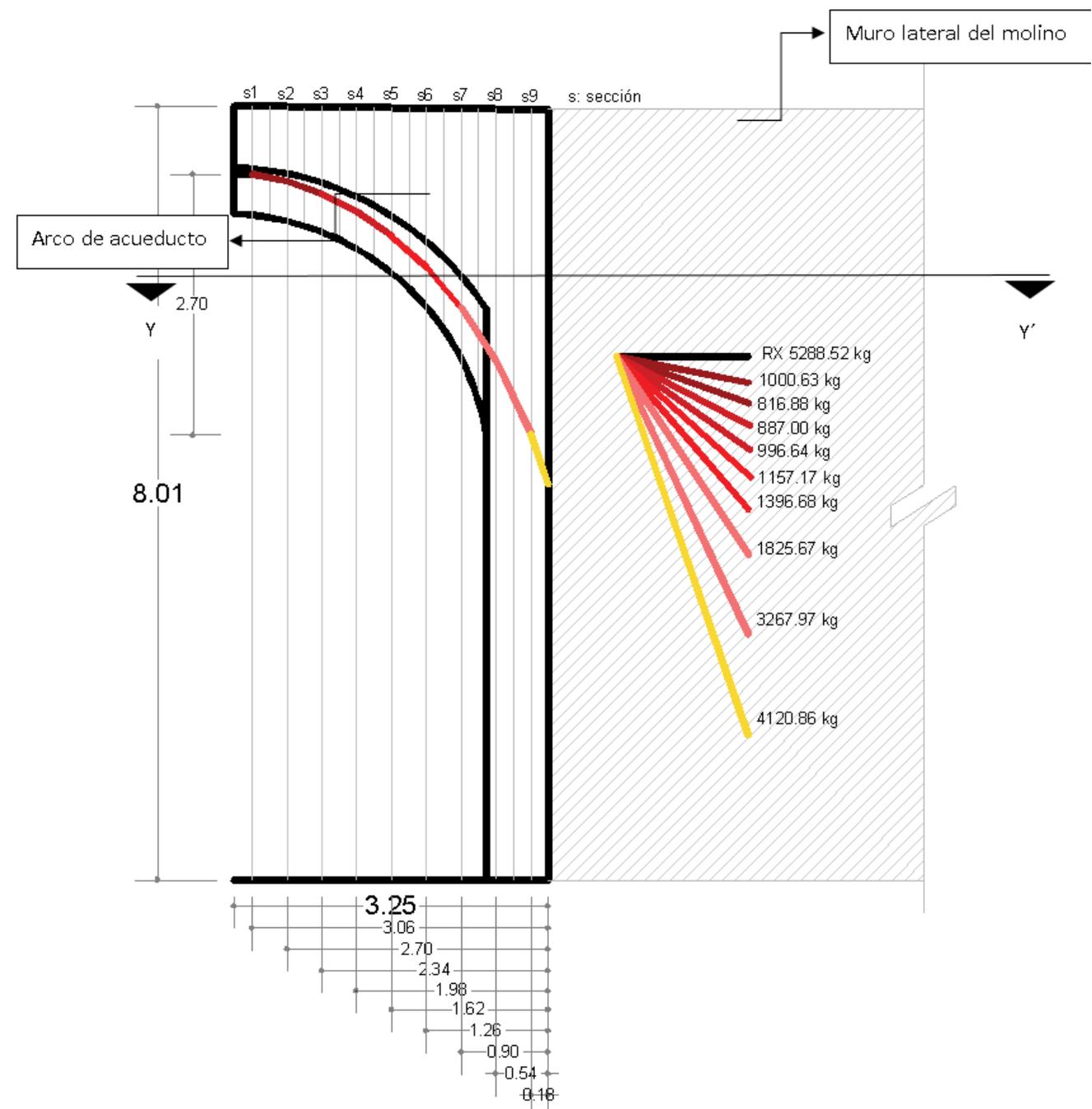


Figura 53. Línea de presiones de la mitad del arco, acueducto 2. Elaboración propia AutoCAD 2017.

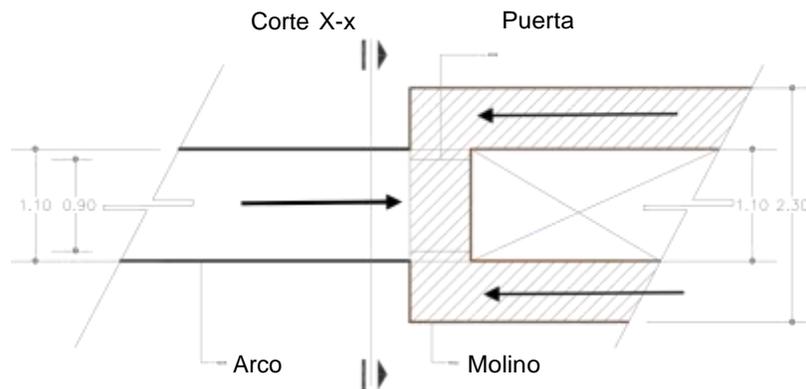


Figura 54. Y-Y'. Conexión de arco con muro de molino visto en planta. Elaboración propia AutoCAD 2017.

La línea de presiones que se obtuvo en la figura 53 muestra cómo se transmite hacia el muro que está adosado del lado derecho de la arcada con un molino que funciona como muro de contención como lo mostrado en la (Fig. 49), de tal forma que los empujes laterales del arco son contrarrestados por el muro lateral del molino. De tal manera que la línea de presiones continúa en el muro interior, que baja por una puerta de arco de medio punto (Fig. 55, 56). Al obtener la línea de presiones se puede observar que el ancho de 2.30 m y espesor de 0.60 m, es suficiente para que la línea de presiones se encuentre dentro del muro del molino.

Secciones	Área (m ²)	Ancho (m)	Volumen (m ³)	Peso volumétrico (kg/cm ²)	Peso dovelas (kg)
1	0.16	0.6	0.10	1900	182.63
2	0.18	0.6	0.11	1900	210.56

Relleno	Área (m ²)	Ancho (m)	Volumen (m ³)	Peso volumétrico (kg/cm ²)	Peso relleno (kg)	Peso total (kg)
1	1.21	0.6	0.73	1600	1165.728	1348.36
2	1.22	0.6	0.73	1600	1175.52	1386.08

Distancia	Largo (m)	Momento (kg.m)
1	1.04	1402.29
2	0.81	1122.72
	Momento Σ	2525.01
	Altura (m)	RX (kg)
	1.15	2195.66

Columna	Área (m ²)	Ancho (m)	Volumen (m ³)	Peso volumétrico (kg/cm ²)	Peso total (kg)
1	1.8022	0.6	1.08132	3200	3460.224
2	1.8022	0.6	1.08132	3200	3460.224
3	2.0025	0.6	1.2015	3200	3844.8

Tabla 5. Peso total en cada sección, acueducto 3 arco con molino. Elaboración propia 2016.

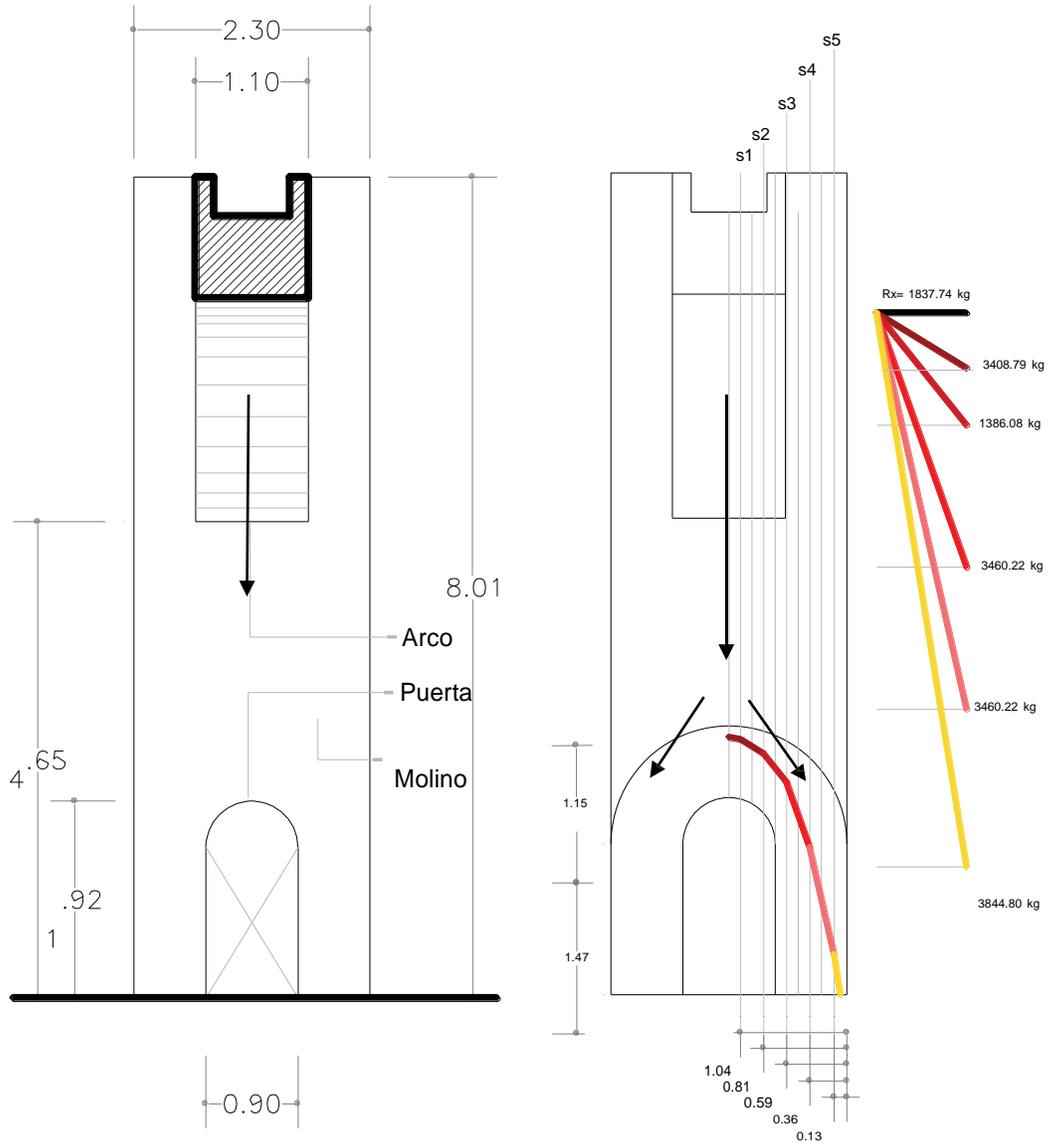


Figura 55. Corte X-X'. Línea de presiones en conexión de arco con molino.
Elaboración propia AutoCAD 2017.

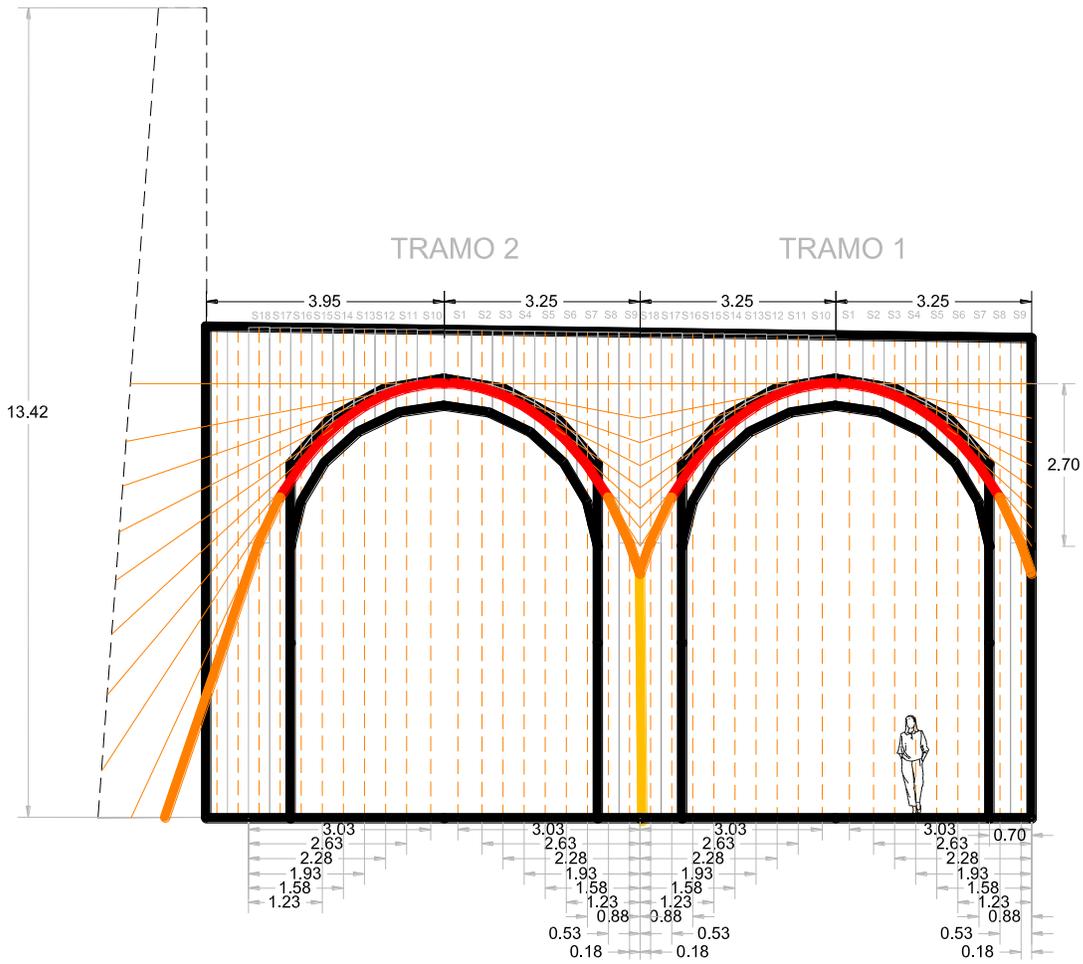


Figura 56. Desarrollo de la línea de presión a lo largo del acueducto 2. Elaboración propia AutoCAD 2017.

La tercera sección analizada es una arcada que forma parte de la noria (Fig. 57), compuesta por elementos sólidos de dimensiones robustas, con materiales similares a los de la sección 1, con rellenos mayores a los de otras arcadas. Sin embargo, el historiador Dr. Jaime García Mendoza (García Mendoza, 2015), mencionó en una conferencia la posibilidad de que la arcada se encuentre hueca en su interior, por lo que él ha visto en otras haciendas del estado con partes similares a la noria (Fig. 58).

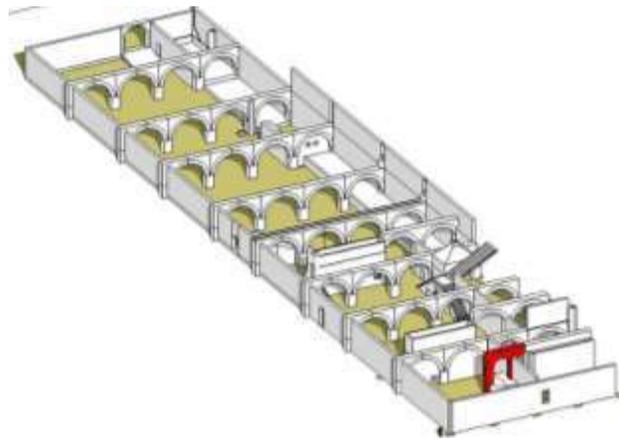


Figura 57. Sección 3, Noria. Foto y modelo Sketchup elaboración propia 2017.



Figura 58. Sección 3, poniente a oriente. Foto Sergio Nava 2016.

En la Tabla 5 se muestran las resultantes del empuje de la sección 3, el peso del semiarco y la reacción en el arranque (Fig. 56). Esta sección se dividió en seis partes a las que se consideró el peso volumétrico y la columna como elemento independiente. Se puede observar que en las columnas se contrarrestan los empujes de ambos lados para conducir la carga hacia el suelo de manera casi vertical (Tabla 5).

de aplicar todas las reglas a las tres secciones, se observa que la primera de ellas tuvo la mayor cercanía en todas. Respecto del análisis y cálculo de las líneas de presiones, que éstas se encuentran dentro del tercio medio de la sección y sólo algunas salen ligeramente, pero están todavía dentro de la estructura.

Al realizar la comparación de las reglas antiguas de tipo geométrico y las líneas de presiones, cotejando aquellas que eran aplicables y tenían un pequeño margen de error observamos que los acueductos que se acercaron más a las reglas, como es en este caso el acueducto de la sección 1, también fue posible calcular una línea de presiones más cercana al tercio medio. Tuvieron además una buena trayectoria tanto en el arco como en los apoyos, incluyendo la eficiencia de colocar los contrafuertes en los extremos de cada lado de los acueductos.

Por el contrario, el acueducto de la sección número tres tuvo la menor cantidad de reglas tradicionales cercanas a sus dimensiones, y su línea de presiones no se encuentra totalmente dentro del tercio medio si no que en el intradós del arco llega a salirse un poco. Esta herramienta de análisis permite conocer rápidamente qué tan cercanas y confiables son las reglas de tipo geométrico en el funcionamiento estructural de los acueductos de mampostería, comunes no solo en haciendas del estado de Morelos, sino en otras partes del país.

4.2 Estudio de la conducción de agua de los acueductos de la hacienda

En el mundo el abastecimiento de agua presenta problemas por las grandes distancias y la topografía complicada. Es interesante entender cómo cada pueblo resolvía sus problemas en otras épocas, sin los conocimientos y métodos hidráulicos que surgieron posteriormente. Es entonces importante e interesante conocer las formas de distribución de agua aprovechando las herramientas que se tienen en la actualidad e identificar así los conocimientos que les llevaron a tomar sus decisiones y que no son muy distintos de los que se conocen actualmente (Bonilla Porras, 2013, p. 8).

En la Nueva España los acueductos y la distribución de agua eran indispensables,

así mismo pasó en los pueblos de indios, quienes se abastecían de manantiales y lagos antes de la llegada de los españoles. Utilizaban medidas relacionadas a las aberturas de los conductos para dejar pasar el agua, afortunadamente existen algunos autores pioneros en el estudio de los sistemas hidráulicos, quienes mencionan las medidas y sus equivalencias basadas en la investigación de varios acueductos de México (Romero de Terreros, 1949).

Por otra parte, fueron generándose problemas por el uso y apropiamiento de las fuentes de agua, en medio de un clima de violencia durante varios periodos. En algunas zonas del estado de Morelos fue necesaria la creación de presas de mampostería, grandes cantidades de canales, túneles y acueductos. Los problemas con los pueblos vecinos eran producto del apropiamiento de compuertas que cortaban el agua para abastecer de agua al pueblo, utilizada para su consumo y para el riego agrícola (Valladares de la Cruz, 2004, p. 67).

En la mayoría de los acueductos del estado debe existir una diversidad morfológica de acueductos a causa de la gran cantidad de topografías, clima y tipos de terreno en todo el estado de Morelos, conocido por sus terrenos accidentados. Factor que influyó en las técnicas y sistemas utilizados para la conducción de agua en todos los espacios hacendarios. Por ello, el cálculo del aforo de agua influía en el cambio de un sistema hidráulico utilizado en zonas menos accidentadas, en donde el mayor problema sólo era la conducción de agua en grandes trayectorias.

4.2.1 Análisis de los desniveles de la presa a la hacienda

El traslado de agua del río hasta el interior de la hacienda se iniciaba con la construcción de una presa que se encontraba río arriba aproximadamente a 3 kilómetros de distancia de la hacienda. Este inmueble está ubicado en una curva natural que recibía un caudal de agua con gran fuerza, reteniéndola hasta alcanzar el nivel necesario para alimentar el canal de conducción principal. La presa es el primer elemento que tiene contacto con el agua del río Cuautla para abastecer a la hacienda de Ixtoluca con un nivel de 892 m. s. n. m.

Para conocer la topografía del lugar, las curvas de nivel fueron obtenidas con ayuda del software *Global Mapper*, referenciado con coordenadas UTM (*Universal Transverse Mercator*). Este estudio aproximado fue el resultado de un mallado de la superficie, con el que se obtuvieron los niveles del terreno cercano a la zona de Ixtoluca. Además, del relieve en tres dimensiones mostrado en la figura 60, se ubican los elementos principales como son: la presa, el acueducto sobre el río y la hacienda con sus correspondientes niveles. Las curvas de nivel se trazaron con diferencia entre ellas de cinco metros, comprobado con mallados de 1 m, que por mejor entendimiento visual se eligió la antes primera de 5 m (Fig. 60).

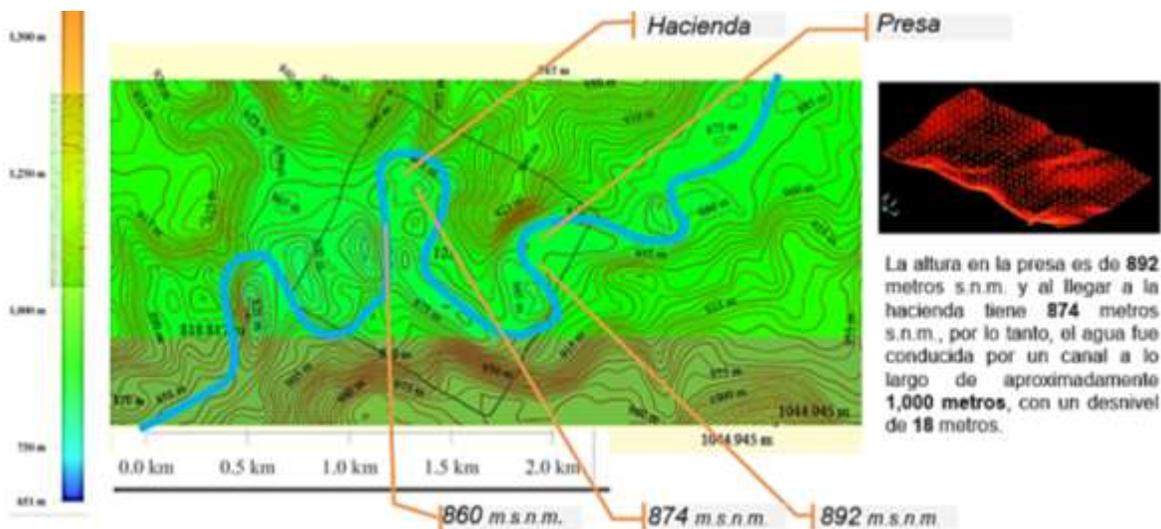


Figura 60. Curvas de nivel de la zona de estudio. Nivel de piso de hacienda, nivel de río en zona de hacienda y nivel de la presa. Elaboración propia Global Mapper 2016.

Después de la presa que conecta con el río, el siguiente elemento es un puente construido a base arcadas y columnas cuadradas de grandes dimensiones, que en la actualidad se encuentran colapsadas, ya que su función era transportar el agua por sobre el río (Fig. 61). El canal de la presa hacia el puente era a nivel de piso y en algunas zonas subterráneo; actualmente solo existen vestigios de este canal, además de ser ya una zona privada y de difícil acceso para los comuneros.



Figura 61. Acueducto derribado sobre el río. Foto propia 2017.

Al atravesar el río por el puente, el canal era conducido por medios elevados y sobre el nivel de piso, con quiebres para ejercer presión, que son visibles por algunos croquis que se encuentran en el AGN. Al llegar al acceso de la hacienda con un nivel de 874 m.s.n.m., toda el agua era depositada en cisternas que se han podido observar gracias a las últimas excavaciones realizadas en el lugar. Esto nos dice que es posible encontrar otros conductos que lleven el agua para otros procesos industriales.

4.2.2 Reconstrucción virtual del acueducto principal

El desarrollo del acueducto principal iniciaba en la presa, con una diferencia de 18 m entre este punto y la hacienda, como se mencionó anteriormente. A continuación, se encuentra un acueducto en malas condiciones que cruza el río Cuautla, para llegar a la hacienda de Ixtoluca, y abastecer de agua con el flujo necesario para el correcto uso en el interior de la hacienda (Fig. 62). Por lo cual era necesaria una pendiente adecuada en su trayectoria, evitando un flujo excesivo que pudiera dañar los canales y a su vez un flujo no tan bajo que entorpeciera su conducción.

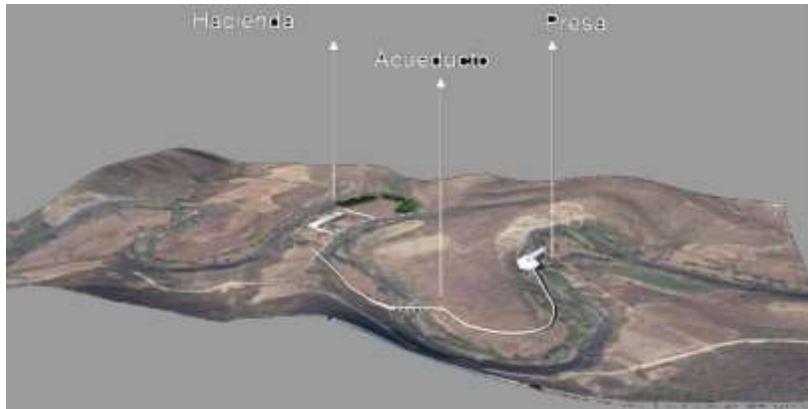


Figura 62. Puntos principales en la trayectoria del acueducto. Elaboración propia sketchup 2017.

Con el levantamiento topográfico de los puntos más importantes en la trayectoria del acueducto, se obtuvo el porcentaje de pendiente en cada tramo, que sirvió para conocer cómo fue el desarrollo de toda la distribución de la presa a la hacienda (Fig. 61). La trayectoria seguida fue respaldada por los vestigios que aún existen en la zona, así como a través de archivos del AGN⁴. En la figura se muestran los posibles trayectos del acueducto, referenciado por coordenadas del programa de computo ARC GIS, obteniendo las longitudes, diferencias y pendientes (Fig. 63).

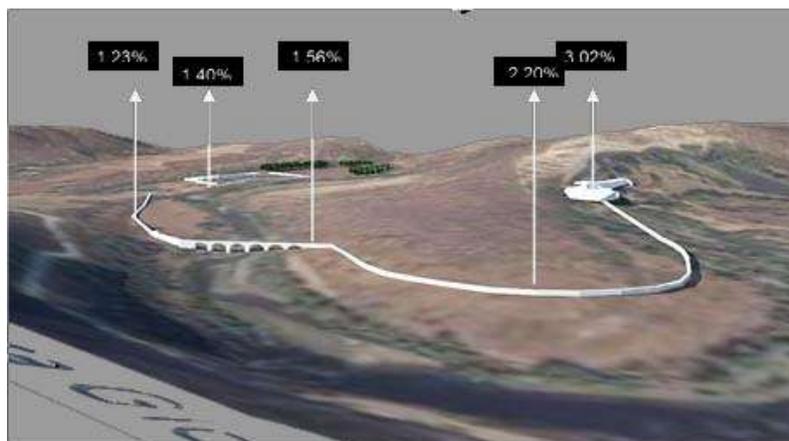


Figura 63. Pendientes obtenidas en varios puntos del acueducto principal. Elaboración propia sketchup 2017.

⁴ Fuente: Mapilu. AGN, Minería, V.20, exp. 4

Sección	Longitud	Diferencia	Pendiente
Presa	95.70 m	2.87 m	3.00 %
Acueducto sección A	390.32 m	8.58 m	2.20 %
Acueducto sección B	78.05 m	1.22 m	1.56 %
Acueducto sección C	325.56 m	4.56 m	1.40 %
Acceso hacienda	120.85 m	1.47 m	1.22 %
	1010.48 m	18.70 m	1.88 %

Tabla 5b. Tabla de Longitudes, diferencias y pendientes. Elaboración propia 2016.

4.2.3 Sistema de distribución de agua dentro de la hacienda

El primer punto para el abastecimiento de agua de la hacienda eran las cisternas, visibles dos a la entrada y dos en la parte sur, con dimensiones aproximadas de 5 m de ancho, 6 m de largo y de 2 a 3 m de profundidad. Actualmente, en la hacienda solo existe una cisterna que fue encontrada hace años, sin embargo, su ubicación ya podría conocerse en archivos del AGN⁵ (Fig. 64). Como se menciona en el capítulo 2.2.2, la forma de distribución de la red hidráulica en haciendas es similar en la mayoría de los casos.



Figura 64. Azul, conducción de agua desde la cisterna. Rojo, construcción de patio de beneficio. Elaboración propia 2016.

⁵ General de parte. V.66, exp. 324, f. 239, f. 239v-240;

Algunos escritos obtenidos del AGN⁶ muestran la existencia de una cisterna más grande a las conocidas actualmente (Fig. 65), que posiblemente fue utilizada al momento de la construcción de la hacienda, y posteriormente fue demolida o reutilizada para otra función.

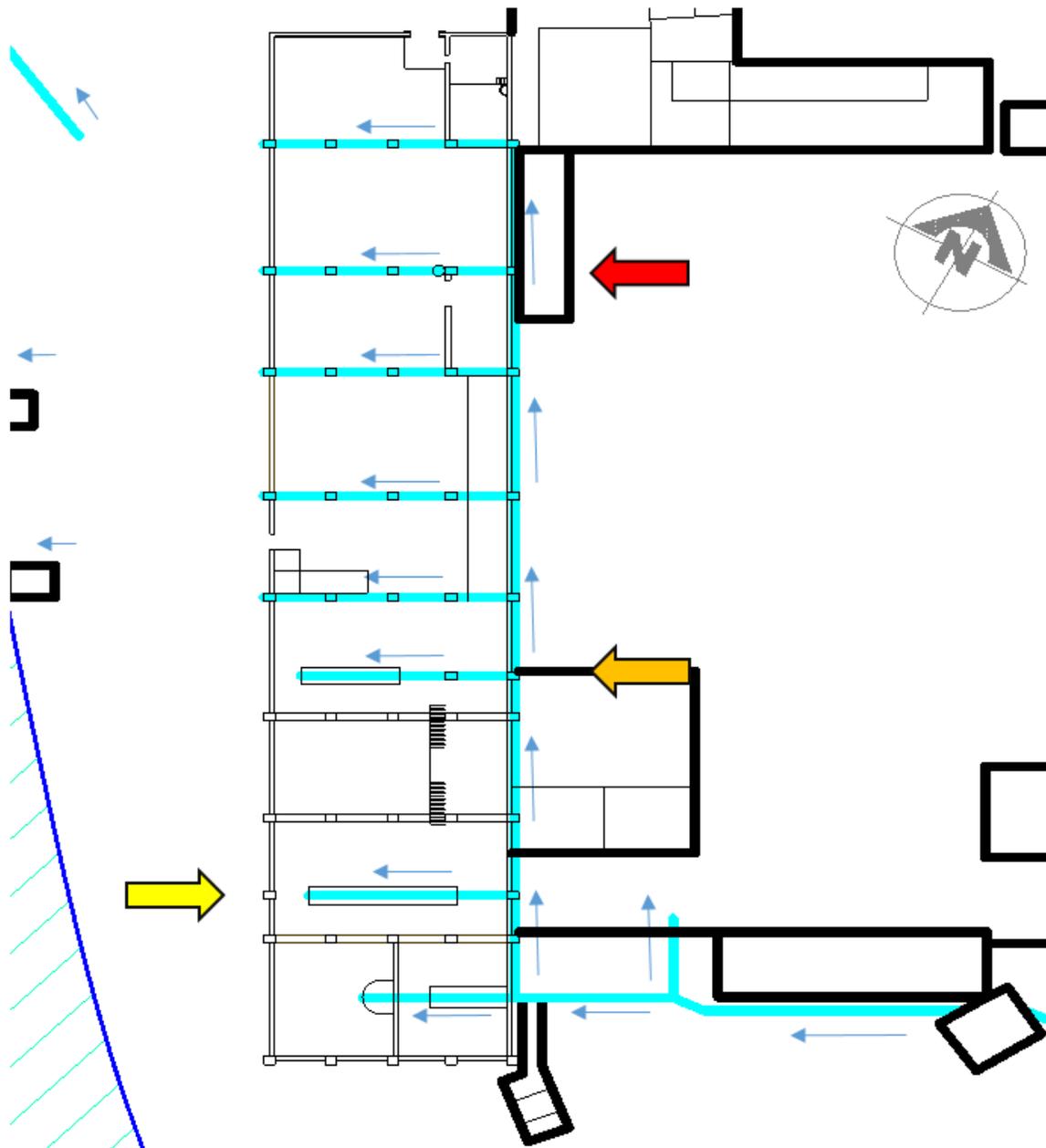


Figura 65. Cisterna en condiciones actuales. Foto propia 2016.

Siguiendo con la descripción de la red hidráulica, tenemos que, después de llenar las cisternas, el agua era conducida hacia los molinos que funcionaban con la fuerza del agua, por medio de una gran rueda que trituraba el mineral en piedras más pequeñas; dicho instrumento ya no se encuentra en la hacienda. Este fue el primer punto donde el agua ingresaba a la zona de procesamiento; el conducto posteriormente abastecía de agua a la noria para un segundo lavado por medio de un emparrillado, y el agua era reutilizada y conducida a una segunda cisterna que llevaba el agua en el interior de las columnas huecas que fueron mencionadas con anterioridad.

La distribución y exceso de agua continuaba hacia los acueductos y los hornos, donde era utilizada para enfriar los metales fundidos que se solidificaban con el reposo (Fig. 66). En el segundo proceso de fundición, era utilizada nuevamente el agua para enfriar los artefactos utilizados, con el fin de fundir los minerales, principalmente plata y plomo, donde eran utilizados grandes recipientes de hierro.

⁶ Real Hacienda: v. 1291, f. 46.



*Figura 66. Distribución de agua por acueductos, en el patio de beneficio.
Elaboración propia AutoCAD 2016.*

En otro canal el agua conducida se utilizaba para mezclar la plata con el mercurio y la sal (Fig. 67), desalojando los lodos que eran arrastrados por el agua hasta las cisternas y dejándolos reposar para asentar los minerales, en pequeños tanques en la zona sur de la hacienda (Fig. 68). Posteriormente, el agua se reincorporaba al río con todos los lodos, y después de pasar varios filtros que recuperaban la plata que no era posible obtener a través de los procesos anteriores.

En algunos otros procesos como el enfriado de los lingotes de plata ya terminados, utilizando agua, así como el abastecimiento para los trabajos de quienes se encontraban en el lugar, también era indispensable su abasto. Procesos para los cuales requirieron de canales a nivel de piso y subterráneos, que en la actualidad muchos de éstos aún no son descubiertos (García Mendoza, 2015).



Figura 67. Reconstrucción de canales de conducción. Foto propia 2016.



Figura 68. Cisternas de reposo del material. Foto propia 2016.

Analizar los más de 1000 m de acueducto de conducción y los que se encuentran en el interior de la hacienda comprenden gran cantidad de trabajo, además de la cantidad de datos necesarios, las obras en ruinas y la presencia de vegetación en algunos tramos, hacen más difícil la realización de dichos cálculos. Por esta razón, en este trabajo se han elegido únicamente los canales de conducción de la parte interior, para el cálculo de pendientes y flujos.

La topografía en general es amable, la diferencia de niveles se encuentra bien marcada entre el nivel de acceso y el casco de los procesos minerales; el tramo inicia en las cisternas de almacenamiento también llamado aljibe, que a su vez alimenta a una tubería subterránea. Esta tubería funciona como el sifón en este tramo hacia el primer molino, hasta llegar a un depósito abierto en donde abastece al canal principal. En este punto se plantean varias interrogantes desde el punto de vista técnico, que se irán tratando a continuación.

El canal funciona como una estructura independiente, con la característica de poder conducir los líquidos por efecto de la acción gravitatoria, su geometría varía a lo largo de su trayectoria. Un punto que es importante resaltar es que el agua siempre estará en contacto con la presión atmosférica, por lo tanto, se contempla como un canal por donde fluyen los líquidos sin ocupar completamente la sección transversal del mismo.

Por fluido se entiende una sustancia incapaz de recibir un esfuerzo cortante; la revisión del flujo en un canal requiere primero de la determinación de características hidráulicas, como la geometría y las dimensiones de la sección transversal, así como el gasto que fluye a través de él, en condiciones normales de operación por no conocer la real. Sotelo Ávila (2011) menciona que la pendiente media de un acueducto en tramos cortos es de 0.5 a 0.7 %, por lo cual se puede tomar el valor levantado en campo para revisar este intervalo. De la geometría de las arcadas, levantada mediante una estación total, sabemos que el tramo que va del primer molino hasta la última arcada de distribución tiene las siguientes elevaciones partiendo de cero en el punto A (Fig. 69):

Elevación (A) = 0.00 m

Elevación (B) = -0.75m

Longitud (C) = 104 m

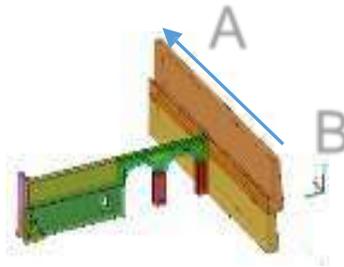


Figura 69. Dirección de conducción del agua en tramo de abastecimiento. De elevación A a elevación B. Elaboración propia Sketchup 2016.

El valor de la pendiente longitudinal de la plantilla del canal en este tramo es 0.72%, lo que significa que se encuentra en el margen de los valores que se aceptan como pendiente media, por lo que usar alguno de ellos puede conducir a resultados muy cercanos a los valores adecuados y es posible que aplique los siguientes tramos de los canales.

Conclusiones

En esta tesis fue posible conocer que la estabilidad de los acueductos de la hacienda de Ixtoluca está relacionada principalmente con la geometría de las arcadas y, en segundo término, con el tipo de material. Se lograron detectar las secciones de los acueductos que tienen mayor probabilidad de falla, tomando en cuenta una de las líneas de presiones que es posible trazar dentro de la sección y su relación con la falta de coincidencia con las reglas tradicionales de tipo geométrico estudiadas aquí.

En relación al funcionamiento de los acueductos, se realizó la revisión de las pendientes, desde la presa ubicada a varios kilómetros al norte de la hacienda hasta su interior, concluyendo que las pendientes son adecuadas para el correcto funcionamiento de molinos y distribución de agua para los distintos procesos.

Resultando evidente que para su diseño se requirió de técnicas y conocimientos basados en la trigonometría, la observación, planeación y algunas reglas tradicionales de tipo geométrico.

El objetivo principal de la investigación fue resuelto de manera satisfactoria, mostrando los principios que fueron utilizados en la construcción de los acueductos de la hacienda de Ixtoluca, mediante el estudio de las reglas antiguas antes mencionadas, y su cercanía con las dimensiones de los acueductos. Del análisis de equilibrio límite que muestra una de las posibles líneas de presiones, que muestran su estabilidad ante cargas verticales. Este estudio nos permite identificar el porqué, después de más de 300 años, los acueductos no han tenido problemas de estabilidad y no han tenido intervenciones relevantes, sino sólo colocación repellados. Principalmente la línea de presiones calculada en cada uno de ellos nos ayuda a comprender que sus proporciones son adecuadas.

Tomando en consideración que en transcurso del trabajo se encontraron varias líneas de investigación de importancia, es importante dar pie a futuras investigaciones como por ejemplo el impacto de la vegetación adosada a los edificios, visto en los amates amarillos encontrados en Ixtoluca. Así como la resistencia de los elementos de mampostería en acueductos, ante movimientos sísmicos, para conocer su comportamiento. Referente a la conducción de agua, es interesante ahondar en una investigación con fines hidráulicos, para conocer los flujos y gastos en cada molino o conducto utilizado en las haciendas no solo de producción minera si no también agrícola o ganadera.

Es importante dar a conocer los acueductos de la hacienda de Ixtoluca como obra arquitectónica e hidráulica significativa en el estado de Morelos, sin embargo, hace falta crear conciencia para valorar dichos elementos. Además del beneficio económico de la comunidad por la presencia de este patrimonio arquitectónico, su preservación y divulgación debe contribuir al rescate de esta importante parte de la identidad del Valle de Ixtoluca.

Referencias

Andreu, A. (2006). *Limit analysis of masonry constructions by 3d funicular modeling*. New Delhi: Mac Millan.

Archivo General de la Nación. (2014, 23 de agosto). A.G.N. México D.F.: s.n.

Aragón, E. (1969). *Toponimias en lengua náhuatl del Estado de Morelos*. 1er. ed. México D.F.: Herrera.

Barberot, E. (1927). *Tratado práctico de edificación*. 5ta. ed. Barcelona: Gustavo Gili.

Barrios, A. G. (2009). El aspecto bélico de Chaahk, el dios de la lluvia en el periodo clásico maya. *Revista española de antropología americana*, 39(1). p. 7.

Bonilla, J. A. (2013). *Revisión del funcionamiento hidráulico del acueducto Tembleque*. México D.F.: Facultad de ingeniería, U.N.A.M.

Bores, F. (1998). *Actas del Segundo Congreso Nacional de Historia de la Construcción*. Coruña: Estudios Históricos de Obras Públicas y Urbanismo.

Branding, D. (1975). *Mineros y comerciantes en el México borbónico 1763-1810*. México D.F.: Fondo de Cultura Económica.

Cardona, M. C. (2009). *Diccionario de arquitectura y urbanismo*. México D.F.: Trillas.

Castro, J. Z. (1997). *Director municipal de cultura zona sur. 1997-1998*. Tlaquiltenango, Morelos: Instituto Estatal de Documentación de Morelos.

Crespo, H. (2010). *Historia de Morelos; Tierra, gente tiempos del sur. Tomo I: Historiografía, territorio y región*. Cuernavaca, Morelos: Navarro.

De las Casas, A. & García, I. (2011). *Actas del Séptimo Congreso Nacional de Historia de la Construcción. Acueductos en las haciendas de Mexico*. Madrid: Santiago.

Derand, F. (1643). *L'Architecture des voutes*. s.l.:s.n.

Gutiérrez, B. E. (1994). *Evolución de ingeniería sanitaria y ambiental en México*. México D.F.

- Fernández, C. (1972). *Acueductos romanos en España*. Madrid: CSIC.
- Fuente, M. d. J. (1999). *Diccionario de historia urbana y urbanismo*. Madrid: Universidad Carlos III de Madrid.
- García Mendoza, J. (2014). *El uso del agua en las haciendas mineras novohispanas*. Cuernavaca Morelos.
- García Mendoza, J. (2015). *La importancia del agua en las haciendas*. Cuernavaca, Morelos. García, I. (2011). *Acueductos en las haciendas de México*. México D.F.: Congreso Nacional de Historia de la Construcción.
- Gautier, H. (1716). *Traité de Ponts*. Francia.
- Gerhard, P. (1986). *Geografía histórica de la Nueva España 1519-1821*. México D.F.: Instituto de Investigaciones Históricas U.N.A.M.
- Gioda, A. (1997). *Breve historia del agua*. Montevideo, Uruguay: UNESCO.
- González Briseño, J. (2015). Manual de procedimiento. *Catálogo Nacional de Monumentos Históricos Inmuebles*. México D.F.: INAH.
- Heyman, J. (1999). *La ciencia de las estructuras*. Madrid: Instituto Juan de Herrera.
- Huerta Fernández, S. (2004). Introducción: el cálculo de estructuras de fábrica. *Arcos, bóvedas y cúpulas. Geometría y equilibrio en el cálculo tradicional de estructuras de fábrica*. Madrid: Escuela Técnica Superior de Arquitectura.
- Huerta Fernández, S. (2005). Informes de construcción. *Mecánica de las bóvedas de fábrica: el enfoque del equilibrio*. Madrid.
- INEGI, (2015). *Instituto Nacional de Estadística y Geografía*. [Online] Pagina web: www.inegi.org.mx [Acceso Enero 2015].
- Lara G. A. (2013). *Ficha nacional de Catálogo de Monumento Histórico Inmueble*, México D.F.: C.N.M.H.
- León, J. & Goicolea, J. M. (2016). *Los puentes de piedra o ladrillo antaño y hogaño*. s.l.: Fundación Juanelo Turriano.

López Morales, F. J. & Francisco, V. (2014). *Los nuevos paradigmas de la conservación del patrimonio cultural. 50 Años de la carta de Venecia*. México D.F.: Dirección de Patrimonio Mundial- INAH.

López, J., Oller, S. & Oñate, E. (1998). *Cálculo del comportamiento de la mampostería mediante elementos finitos*. 1ra. ed. Barcelona, España: Centro Internacional de Métodos Numéricos en Ingeniería.

Lourenço, O. A. (2003). *Cap Mmodel for limit analysis and strengthening of masonry structures*. s.l. J Struct Eng.

Lourenço, O. A. (2002). *Guidelines for the analysis of historical masonry structures*. Guimarães, Portugal: University of Minho.

Macías Sámano, J. (2010). *Manual de podas para árboles*. México: El colegio de la frontera sur ECOSUR.

Marvá y Mayer, J. (1902). *Mecánica aplicada a las construcciones*. 3ra. ed. Madrid: Imprenta y litografía de Julián Palacios.

Mazarí Puerto, M. (1986). *Bosquejo histórico del estado de Morelos*. Cuernavaca, Morelos: UAEM.

Meli Piralla, R. (1998). *Ingeniería estructural de los edificios históricos*. 1ra. ed. México D.F.: Fundación ICA.

Meli Piralla, R. (2002). *Diseño estructural*. 2da ed. México D.F.: Limusa.

Meli, R.& Sanchez, C. (1995). *Structural aspects of the rehabilitation of the Mexico City Cathedral*. Barcelona: CIMNE.

Mezquiriz, M. A. (1992). *El acueducto de Alcanadre lodosa*. s.l.

Nicolás, F. S. (1736). *Arte y Uso de la Arquitectura*. s.l.: s.n.

Orellana, I., (1995). *Descripción geográfica y estadística del Distrito de Cuernavaca, 1826*. México D.F.: Centro de Investigaciones y Estudios Superiores en Antropología Social.

Palencia, G. G. (2009). *Una de Romanos*. Castilla: Biblioteca pública de Cuenca.

Rabiela, T. R. (2004). Las cuencas lacustres del altiplano central. *Arqueología Mexicana*. México D.F.: n. 68, p. 68.

RAE (2016). *Diccionario de la Real Academia Española*. s.l.

Robelo, C. A. (1897). *Nombres geográficos indígenas del estado de Morelos*. Cuernavaca, Morelos: Luis G. Miranda.

Roca, P. (2010). *Structural Analysis of Masonry Historical Constructions*. Barcelona: CIMNE.

Rodríguez Méndez, F. J. (2012). *El canon de Simón García. Entre el rito y la geometría*. Salamanca, España.

Romero de Terreros, M. (1949). *Los acueductos en la historia y en el arte*. México D.F.: Instituto de Investigaciones Estéticas UNAM.

Ronald, V. (1969). *Mecánica de los fluidos e hidráulica*. 3ra. ed. Colombia: Mc Graw Hill. S.S.N. (2015). *Servicio Sismológico Nacional*. [Online] Pagina web: <http://www2.ssn.unam.mx:8080/website/jsp/catalogo1.jsp> [Acceso Marzo 2015].

Salcedo, A. (1993). *Nacimiento de un acueducto Romano*. Barcelona, España: CEAC.

Sánchez Santiró, E. (2001). *Azúcar y poder. Estructura socioeconómica de las alcaldías mayores de Cuernavaca y Cuautla de Amilpas, 1730-1821*. Cuernavaca, Morelos: Praxis.

Sánchez Santiró, E. (2003). *Plata y privilegios: El real de minas de Huautla, 1709-1821*. s.l.: Instituto Mora.

Sánchez, T. A. (1995). *Diseño y Construcción de Estructuras de Mampostería*. México D.F.: CENAPRED.

Santoyo, E. & Ovando, E. (2012). *Acueducto del padre Francisco de Tembleque*. s.l.

Sauvage, M. (1998). *La brique et sa mise en oeuvre en Mésopotamie: des origines à l'époque*. Paris: Centre de Recherche d'Archéologie Orientale.

Schmoll, N. (2010). *Construcción de un acueducto romano*. s.l.: Adventure Works.

Schoklitsch, A. (1935). *Tratado de arquitectura hidráulica*. Barcelona.

Sotelo Ávila, G. (2002). *Hidráulica de canales*. 1ra. ed. México D.F.: Facultad de Ingeniería UNAM.

Sotelo Ávila, G. (2011). *Hidráulica general. Fundamentos, Volumen I*. México D.F.: Limusa.

Terribas, B. (2015). *Haciendas coloniales, un rico patrimonio entre la autosuficiencia y la desmesura*. México D.F.

Urquíaga, J. (1992). *Consideraciones sobre la normatividad para la conservación de monumentos*. México D.F.: Obras públicas de la LV Legislatura.

Valentin, L. G. (1994). *Cuernavaca, visión introspectica de una ciudad*. Cuernavaca, Morelos: Centro de Estudios Históricos y sociales de Morelos.

Valéry, P. (2015). *Escritos sobre Leonardo da Vinci*. s.l.: Antonio Machado Libros.

Valladares de la Cruz, L. (2004). *Conflictos hidráulicos en Morelos 1880-1940 De la era de la hacienda al modelo ejidal campesino*. México D.F.: CNA-CIESAS.

Vargas Palma, A. (2004). *Arquería mayor del acueducto del padre tembleque. Análisis y revisión estructural*. México D.F.: UNAM.

Viqueira, J. P. (2002). *Las galerías filtrantes o qanats en México: Introducción y tipología de técnicas*. Montecillo, Estado de México: Colegio de postgraduados.

Vitruvio, M. (2004). *Los diez libros de arquitectura*. s.l.: Alianza editorial.

Volente, D. (2000). *Monumentalia*. [Online]
Pagina web: <http://www.monumentalia3d.es>
[Acceso Octubre 2014].

Von Mentz, B. (2010). *Bases sociales de la insulgencia de las regiones mineras y azucareras del sur de la capital novohispana (1810-1812)*. México D.F.: Centro de Investigaciones y Estudios Superiores en Antropología Social-Distrito Federal.

Warth, O. (1903). *Konstruktionen in Stein*. s.l.: Leipzig: J. M. Gebhardt's Verlag.

Zambrano, Á. J. G. (1994). *La construcción socio-histórica del paisaje fundacional en las migraciones mesoamericanas*. México D.F.: UNAM.

Anexo 1

Gruesa de diezmos de plata de azogue del Real de Huautla y de la caja de México en marcos de plata (1709-1819)							
Año	Real Huautla	Caja México	Porcentaje	Año	Real de Huautla	Caja México	Porcentaje
1709	87	28893	0.30	1781	20625	235081	8.77
1743	4252	63649	6.68	1782	17747	183874	9.65
1744	6666	77574	8.59	1783	17367	208778	8.32
1745	4266	77082	5.53	1784	22504	213318	10.55
1746				1785	23522	209386	11.23
1747				1786			
1748				1787			
1749	103	145456	0.07	1788			
1750	541	181050	0.30	1789	17067	180678	9.45
1751				1790	15138	179025	8.46
1752				1791	10488	226263	4.64
1753				1792			
1754				1793			
1755	414			1794	7096	204785	3.47
1756	1303	129146	1.01	1795			
1757				1796			
1758				1797			
1759				1798	13232	253535	5.22
1760				1799	6364	216853	2.93
1761	410	125173	0.33	1800	4477	233870	1.91
1762	586	124486	0.47	1801			
1763	594	113799	0.52	1802			
1764	532	97336	0.55	1803			
1765	2073	126632	1.64	1804			
1766	342	108737	0.31	1805	12009	352789	3.40

1767	50	102509	0.05	1806	6390 ?		
1768	378	137300	0.28	1807			
1769	373	113843	0.33	1808			
1770	914			1809	11992	202964	5.91
1771	1686	96450	1.75	1810	18098 ?		
1772	3682			1811	5092	104721	4.86
1773	4026			1812			
1774	14347	126880	11.31	1813			
1775	23078	121833	18.94	1814			
1776	29294	153348	19.10	1815			
1777	22276	161674	13.78	1816			
1778	26460	169308	15.63	1817			
1779	30983	152479	20.32	1818			
1780	23904	148995	16.04	1819			

Anexo 1: Gruesa de diezmos de plata de azogue del real de Huautla y de la caja de México en marcos de plata (1709-1819).

Anexo 2

La constitución política de los Estados Unidos Mexicanos. En el artículo 73 dice: *“El congreso tiene la facultad para establecer, organizar y sostener en toda la república, institutos concernientes a la cultura general de los habitantes de la nación y legislar a todo lo que se refiere a dichas instituciones; para legislar sobre monumentos arqueológicos, artísticos e históricos, cuya conservación sea de interés nacional.”*

La ley general de bienes nacionales. En el artículo 9 dice: *“Respecto a actos de adquisición, administración, uso, aprovechamiento, explotación y enajenación de bienes inmuebles federales, así como la ejecución de las obras de construcción, reconstrucción, modificación, adaptación, conservación, mantenimiento, y demolición que sobre ellos se realicen.”*

La ley federal sobre monumentos y zonas arqueológicas, artísticas e históricas. En el artículo 44 dice: *El instituto Nacional de Antropología e Historia es competente en materia de monumentos y zonas de conservación.”*

La secretaria de educación pública en el artículo 38 y 43 de la ley orgánica dice: *Entre sus atribuciones la de organizar, sostener y administrar museos históricos, arqueológicos o artísticos, pinacotecas y galerías, a efecto de cuidar la integridad, mantenimiento y conservación de los tesoros históricos y artísticos del patrimonio cultural del país, así como conservar, proteger y mantener los monumentos arqueológicos y artísticos que conformen el patrimonio cultural de la nación.”*

Concepción estructural de los acueductos de la ex hacienda San Jacinto Ixtoluca Morelos

Presenta:
 Arq. Geovani Jiménez Canales
 Dra. Natalia García Gómez
 Dr. Fernando Peña Mondragón
 Dr. Francisco Granados Saucedo

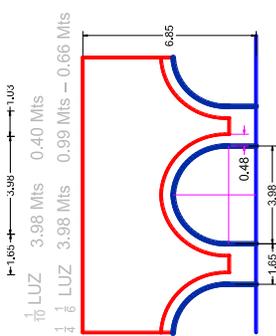
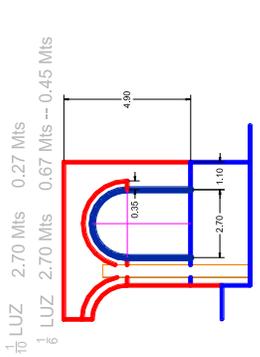
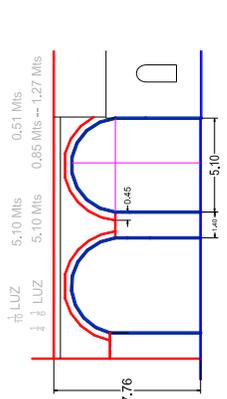
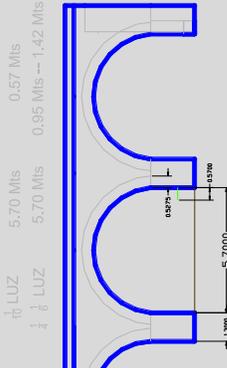
2 da. Generación.
 Agosto 2014 - Julio 2016



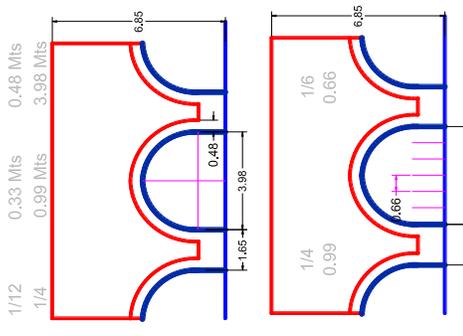
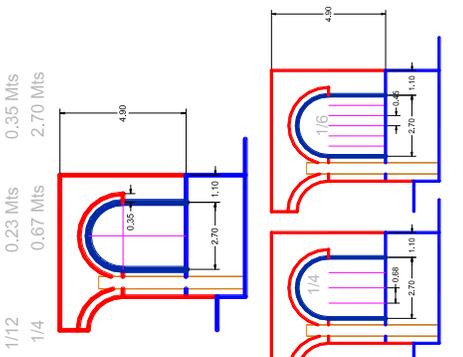
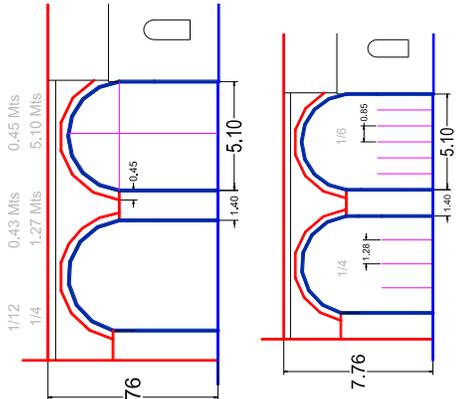
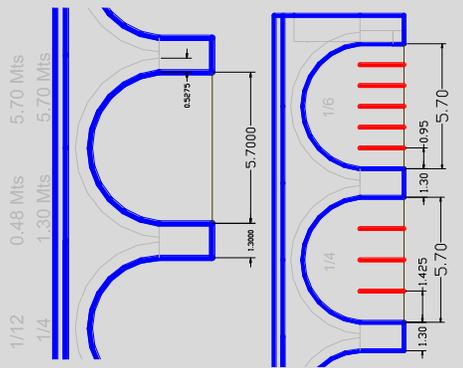
Diseño tradicional de arcadas y acueductos.

		ARCADAS ANALIZADAS			
		HACIENDA SAN JACINTO XTOLUCA		CASOS SIMILARES	
		Acueducto 1	Acueducto 2	Noria	Hacienda San Antonio Chiconcuac
Derand					
Martínez de Aranda					
Hernán Ruiz					

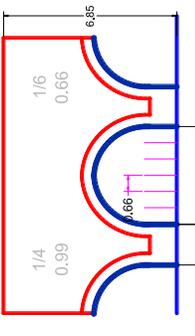
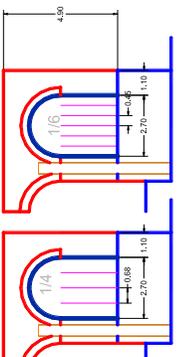
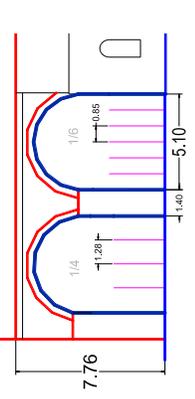
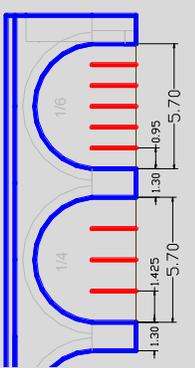
Leon Battista Alberti



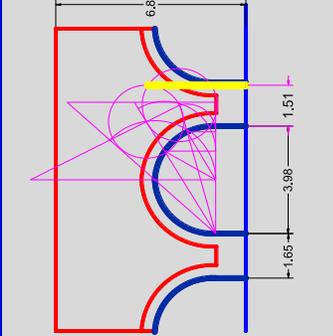
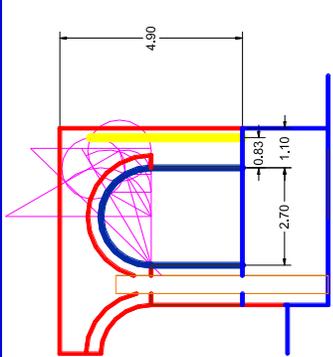
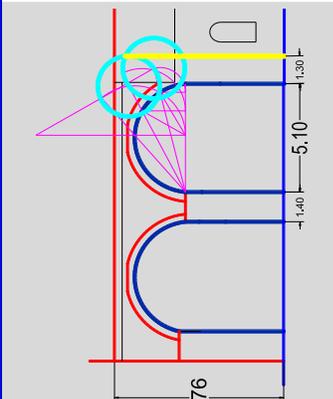
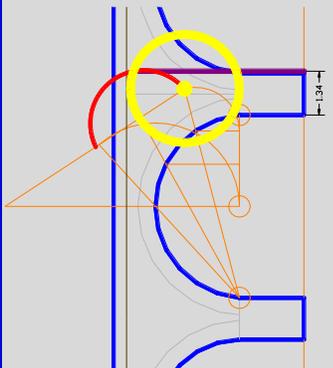
Palladio

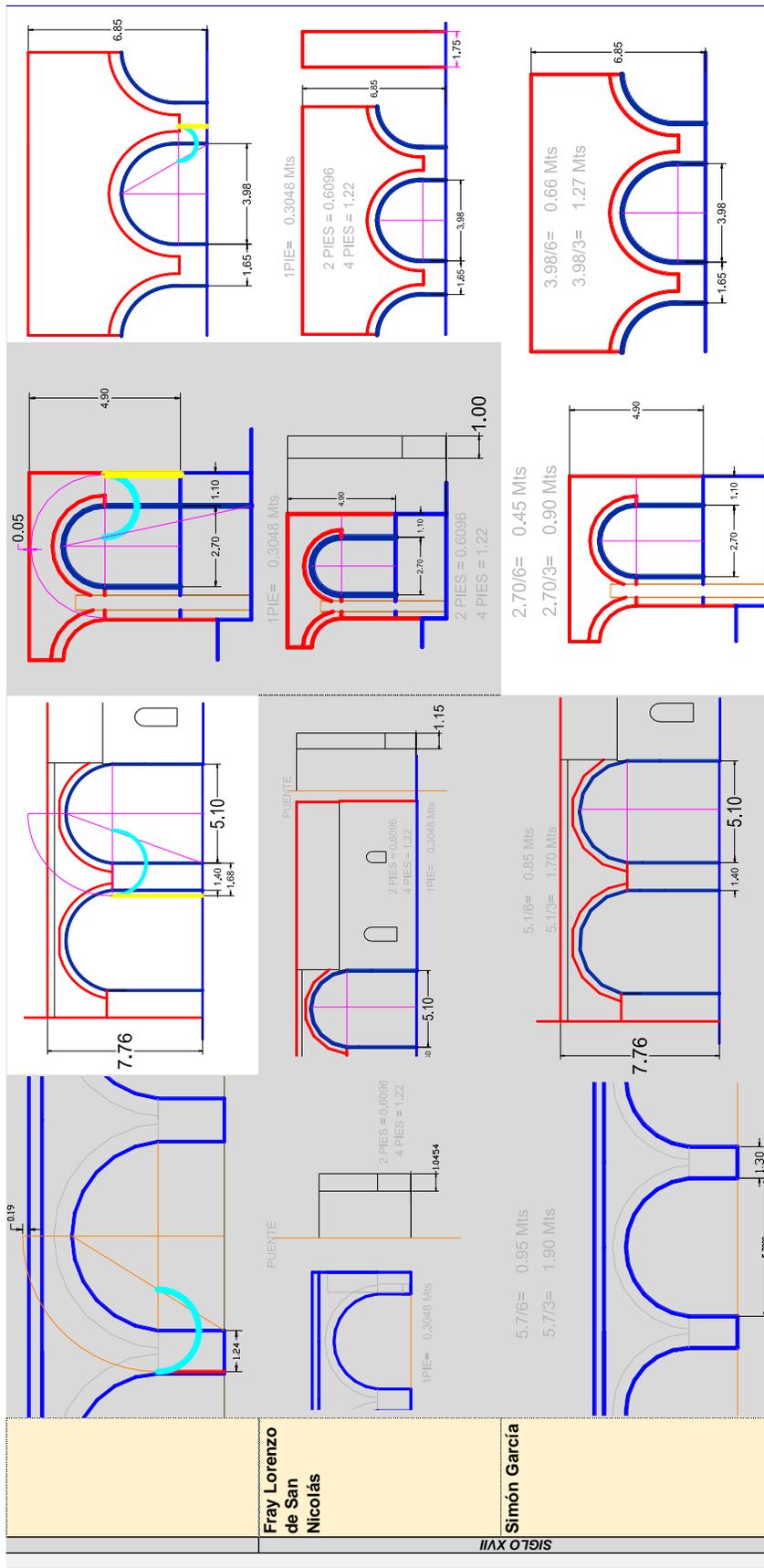


Juanelo Turriano



Rodrigo Gil de Hontañón





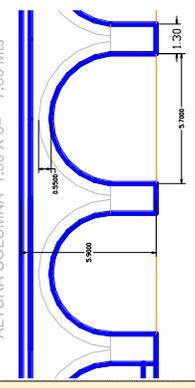
Fray Lorenzo
de San
Nicolás

Simón García

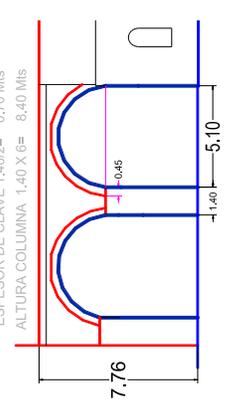
SILO XVIII

Gautier

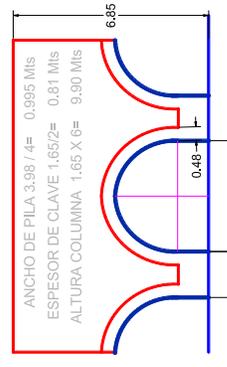
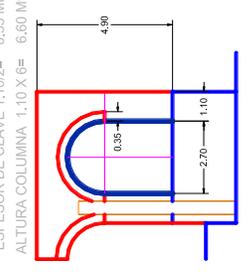
ANCHO DE PILA 5.70 / 4= 1.425 Mis
ESPESOR DE CLAVE 1.30/2= 0.65 Mis
ALTURA COLUMNA 1.30 X 6= 7.80 Mis



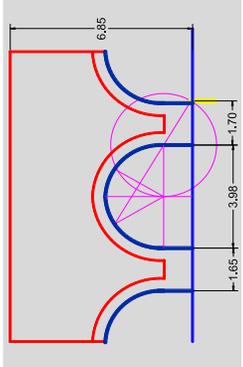
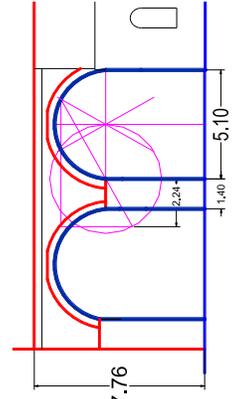
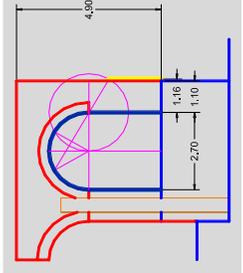
ANCHO DE PILA 5.10 / 4= 1.275 Mis
ESPESOR DE CLAVE 1.40/2= 0.70 Mis
ALTURA COLUMNA 1.40 X 6= 8.40 Mis



ANCHO DE PILA 2.70 / 4= 0.675 Mis
ESPESOR DE CLAVE 1.10/2= 0.55 Mis
ALTURA COLUMNA 1.10 X 6= 6.60 Mis



Plo y Camin



Fotografias



