

# Procedimientos de construcción y trazo del Camino Real en el valle de Ojocaliente, Zacatecas

El presente texto aborda el tema de los sistemas constructivos de caminos de la época virreinal (siglos XVI-XIX) y su diseño ingenieril, analizando los referidos aspectos en un tramo conservado del Camino Real de Tierra Adentro, en el municipio de Ojocaliente, Zacatecas. Dicho tramo es uno de los mejor conservados en la actualidad, pues presenta aún el empedrado, siendo uno de los sitios declarados patrimonio por la UNESCO en el año 2010. Además, se espera que la información técnica que se presenta pueda ser de utilidad en los futuros proyectos de conservación que se realicen sobre el inmueble.

*Palabras clave:* caminos, sistemas constructivos, empedrado, técnicas arqueológicas, topografía, perfil estratigráfico.

La presente investigación abordará el tema de los procedimientos de construcción del llamado “Camino Real de Tierra Adentro”, en el tramo perteneciente al actual municipio de Ojocaliente, Zacatecas, en la comunidad de Palmillas. La importancia de estudios como el presente radica en que, desde el año 2010, existe una declaratoria de la UNESCO de patrimonio cultural para el Camino Real de Tierra Adentro (figura 1), dentro de la cual se suscribe el sitio en estudio, por lo que los datos que se aporten son de valía histórica y arqueológica. La mencionada vialidad se trazó y construyó, en un inicio, para conectar ciudades de la Nueva España desde México hasta Zacatecas durante la segunda mitad del siglo XVI, presentándose desarrollos posteriores como consecuencia de diversos eventos históricos y descubrimientos mineros. Esclareciendo el título planteado en el presente estudio, por procedimientos constructivos se puede comprender la manera como el hombre emplea o combina uno o varios materiales para erigir un inmueble específico.<sup>1</sup> De la definición anterior se puede deducir el trazo como el desarrollo de un esquema técnico en que se concretará la forma de dicho inmueble buscando un fin determinado, y de ese modo, en

<sup>1</sup> Enrique del Moral, *El hombre y la arquitectura, ensayos y testimonios*, México, UNAM, 1983, p. 125.

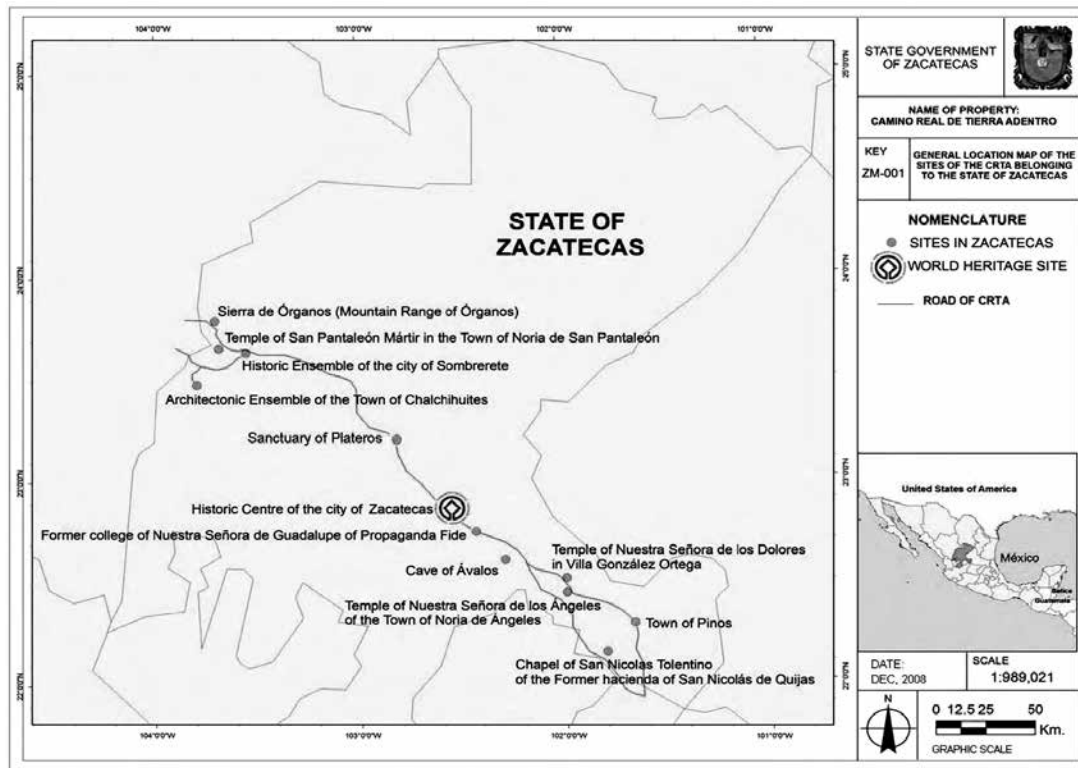


Figura 1. Camino Real de Tierra Adentro, Zacatecas.

conjunto con la elección adecuada de los materiales al realizar su fábrica, proporcionarán, en principio, la óptima funcionalidad del bien inmueble para que cumpla su cometido.

Desde los inicios propios de la arqueología se buscaban dos objetivos fundamentales: 1) determinar las fases de construcción en las estructuras, y 2) describir las técnicas de construcción.<sup>2</sup> El por qué de la elaboración de un estudio de este tipo obedece primero a las características propias del análisis arqueológico, la matriz arqueológica (1978-1979);<sup>3</sup> se desarrolló mediante la recopilación de información empleando instrumentos propios de los

<sup>2</sup> Roberto Parenti, "Arquitectura, arqueología de", en *Diccionario de arqueología*, Barcelona, Crítica, 2001, p. 42.

<sup>3</sup> A diferencia del versátil sistema conocido como "The Harris matrix", legitimado en 1973 por Edward C. Harris, la matriz desarrollada en Italia se enfoca en las estructuras, y es heredera de una tradición de registro surgida en Italia en el siglo XVI para sistematizar las investigaciones de la antiquaria equivalente a la *archaiologia* (precursora de la arqueología como ciencia que estudia sistemáticamente lo antiguo). Para más referencias, consúltese María José Strazzulla, "Antiquaria", en *Diccionario de arqueología*, *op. cit.*, pp. 4-10.

estudios arqueológicos aplicados sobre estructuras en estado de ruina, obteniendo datos de la estratigrafía, la tipología de los materiales de construcción, mezclas empleadas y técnicas de construcción, cuando no existía documento alguno que caracterizase los procedimientos de fábrica de la obra.<sup>4</sup> Gracias a los referidos trabajos, es posible obtener registros fidedignos de los monumentos históricos, así como importantes fuentes de datos que pueden ser usados para los análisis antropológicos e históricos, como los relativos a los conocimientos técnicos y científicos de un grupo humano en determinados periodos.

Aunado a lo anterior, prácticamente toda información disponible de los bienes inmuebles considerados como monumentos puede ser sintetizada, agrupada y empleada para las labores de su conservación y restauración. Actualmente se elaboran dos tipos de datos técnico-arqueológicos de los muros y sus estratos: la determinación de las técnicas de albañilería y las características de los materiales de

<sup>4</sup> Roberto Parenti, *op. cit.*, p. 41.

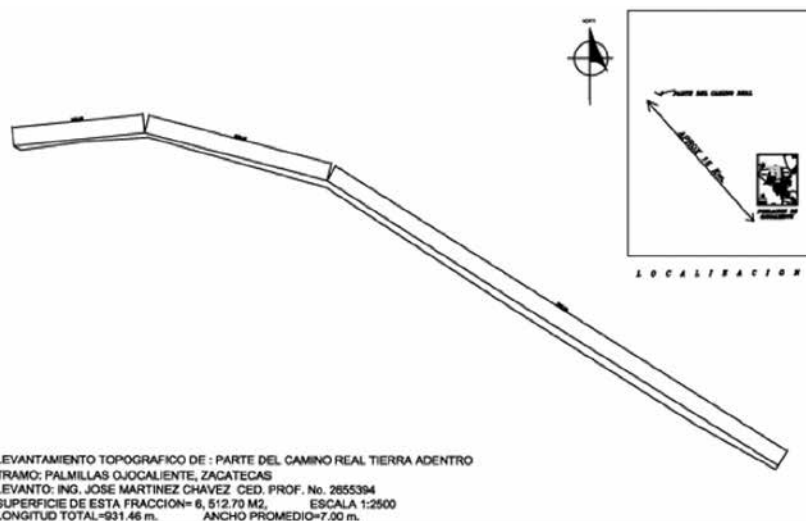


Figura 2. Levantamiento topográfico del tramo de Ojocaliente, Zacatecas, del Camino Real de Tierra Adentro.

construcción.<sup>5</sup> Estas dos descripciones pueden cubrir todo tipo de “tejido edificado”, sin distinción formal, cronológica o topográfica, pudiendo desarrollar documentos de registro de las superficies construidas, que al darles lectura son un medio para elaborar y valorar estrategias de conservación y restauración.<sup>6</sup> Existen estructuras que por sus circunstancias o características, no pueden ser rehabilitadas para que tengan otra función, tal es el caso de las estructuras arqueológicas o, en este caso, un camino de la época virreinal, ya que, por razones casi evidentes, sus características formales, sus dimensiones y su ubicación, lo hacen inapropiado para desempeñar otro tipo de actividad que no sea la de vialidad, y actualmente, por sus cualidades de monumento histórico, sólo para ser transitado de manera peatonal para favorecer su conservación, al evitar el desgaste o rotura de sus materiales de construcción por cargas vivas excesivas. La arqueología y sus técnicas posibilitan efectuar una liberación controlada de los monumentos, y la restauración dentro de la arqueología busca en lo posible devolver una imagen según lo excavado, no un estilo, posibilitando (de planearse) la reintegración

<sup>5</sup> *Ibidem*, p. 43.

<sup>6</sup> *Ibidem*, p. 44.

<sup>7</sup> Luigi Marino, “Restauración de monumentos y yacimientos”, en *Diccionario de arqueología, op. cit.*, pp. 314-318.

de piezas recién encontradas, sólo restando la sustitución de faltantes según lo registrado.<sup>7</sup>

Los datos expuestos en el presente estudio son básicos, limitándose a la superficie y a los estratos observables; sin embargo, se considera que son suficientes para proporcionar una idea de las necesidades de conservación del monumento objeto de estudio, el tramo del Camino Real de Tierra Adentro en el actual municipio de Ojocaliente, Zacatecas, así como para proponer las técnicas de fábrica que se emplearon y las características constructivas que lo hacían físicamente funcional como vialidad (figura 2).

Es esencialmente por la eficacia de las técnicas arqueológicas en el registro y en posteriores labores de restauración, que se justifican estudios como el presente, los cuales esbozan mediante lo descrito, un primer acercamiento al estado actual del inmueble, y permiten deducir las primeras acciones de intervención, como el tipo de liberación al conocer la existencia de estratos edificados, la sustitución de faltantes al conocer la carencia de elementos funcionales, y, en un momento dado, auxiliar a la reconstrucción al conocer los tipos de materiales usados y las características constructivas que lo hacían fungir como obra civil del pasado, y que en el presente el no compensar algunas de estas características podría facilitar el deterioro del monumento.

Con el fin de aprovechar la información obtenida del objeto de estudio dentro del campo de la investigación arqueológica del pensamiento científico, se plantea la siguiente pregunta buscando desentrañar parte del desarrollo teórico que lo edificó: ¿cuáles fueron los conceptos equivalentes a los principios conocidos de la mecánica sobre los que se fundamentan las pendientes del camino? Como hipótesis, se propone que tales conceptos, de no ser los mismos a los principios estáticos conocidos, tienen su origen en el mundo clásico griego, existiendo algunos avances no significativos hasta la cronología del camino, que se propone por razones históricas entre 1550 a 1600.

Dentro de los antecedentes se mencionarán algunas obras de referencia sobre las cuales pueda ser consultada información básica y esencial sobre el “Camino Real de Tierra Adentro”. Fournier<sup>8</sup> relata cómo el tránsito de personas se hacía mayormente en lomos de mulas, carros, carretas y caballos, teniendo como punto nodal la ciudad de México, de donde partía el “camino de la plata” a varias ciudades de la entonces Nueva España, mencionando un problema frecuente en la localización de los caminos por los que se transitaban bienes antiguamente, que es el de asentamientos coloniales y modernos sobre las huellas que pudieron dejar esas rutas. Ante tal observación, cabe destacar la conveniente ubicación del tramo estudiado del camino, el cual no sólo se encuentra despejado de estructuras contemporáneas, sino que se asienta en un entorno natural, rodeado de flora y fauna típica de la región.

Powell<sup>9</sup> realiza una semblanza histórica de los acontecimientos que dieron origen a la creación de los “caminos de la plata”, cuyas labores de construcción estaban ya iniciadas en 1550, argumentando que fue esencialmente el desarrollo minero en

<sup>8</sup> Patricia Fournier, “Arqueología de los caminos prehispánicos y coloniales”, en *Arqueología mexicana, rutas y caminos en el México prehispánico*, vol. XIV, núm. 81, México, 2006, pp. 26-30.

<sup>9</sup> Philip Wayne Powell, *La guerra chichimeca (1550-1600)*, México, FCE, 1977, p. 32.

Zacatecas y sus alrededores lo que impulsó el avance de las vialidades, cuyo fin era comunicar a los asentamientos entre sí. En 1551 se observa la importancia de la ruta México-Zacatecas por el constante tránsito; sin embargo, existieron rutas que datan de 1546 entre Zacatecas y Guadalajara, en la que se destaca que estaban lo suficientemente niveladas para permitir el tránsito de carretas, realizándoseles posteriores mejoras para permitir el paso de grandes carros.<sup>10</sup> En cuanto a los antecedentes de convenios que gestionan la protección, conservación y estudio de los caminos virreinales, se puede citar el proyecto de cooperación México-Estados Unidos para promover y conservar el patrimonio cultural en torno al Camino Real de Tierra Adentro, así como los parajes y paisajes por los que atraviesa, también con los mismos fines, se puede citar a la constitución de rutas culturales turísticas, que parte del estudio histórico, arqueológico y antropológico de los asentamientos asociados con los caminos.<sup>11</sup>

## Metodología

La metodología arqueológica utilizada para detectar caminos depende en gran medida de las condiciones naturales del terreno sobre los que pasa la vialidad; por ejemplo, en zonas desérticas y semidesérticas es posible su detección mediante la observación directa; en zonas donde existe vegetación, en general es posible detectar su presencia mediante fotografías aéreas, las cuales permiten divisar su presencia por cambios en la topografía, el color, la textura o la vegetación del terreno; en sí, se buscan indicadores como franjas regulares que rompan con el patrón de los elementos naturales<sup>12</sup> (figura 3).

En cuanto a los levantamientos de construcción, es decir, las representaciones gráficas de las

<sup>10</sup> *Ibidem*, p. 35.

<sup>11</sup> Patricia Fournier, *op. cit.*, p. 31.

<sup>12</sup> *Ibidem*, p. 30.



Figura 3. Tramo Palmillas del Camino Real de Tierra Adentro. Fotografía de Celso Rodríguez Saucedo.

estructuras elaboradas con mediciones llevadas a escala para ser referidas en los análisis, de no existir el material apropiado para desarrollar cabalmente el estudio planteado, se dispone de diversas técnicas e instrumentos para realizar tales esquemas, también los planos y croquis topográficos son de gran beneficio en las deducciones a realizar. En el caso concreto de estudio, el dibujo técnico fue necesario para la elaboración de perfiles estratigráficos del camino, los cuales, por razones climáticas, han sido descubiertos y son fácilmente visibles sobre la superficie. Los perfiles estratigráficos proporcionan información de las técnicas y materiales de construcción empleados. Asimismo, el dibujo técnico se usa en el caso de necesitar esquemas más específicos.

En lo referente a las pendientes del camino, el levantamiento que se consideró apropiado para determinar un ejemplo, es el repetir los pasos empleados en la ingeniería de caminos para realizar el trazo de una vialidad que atraviesa una zona rural,<sup>13</sup> así, partiendo de un punto cero preestablecido, se empleó el clisímetro para medir los ángulos verticales usando la marca en un estadal para referenciarlos, tomando distancias tendidas a cada 20 m

<sup>13</sup> Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), *Ingeniería de caminos*, Depósito de documentos de la FAO, [www.fao.org/docrep/V9727S/v9727s07.htm](http://www.fao.org/docrep/V9727S/v9727s07.htm).



Figura 4. Empedrado del Camino Real. Pueden apreciarse los niveles y el bombeo formando una traza.

hasta llegar a los 200 m. No se empleó la brújula para medir el azimut, debido a que la dirección del tramo ya se encontraba representada en un dibujo de planta; sin embargo, las coordenadas del punto cero sí fueron registradas con un GPS. También se empleó la fotografía digital para registrar otros datos necesarios.

## Resultados

La figura 4 muestra una imagen del empedrado del camino en el tramo de estudio, en el cual se aprecia claramente la presencia de una gran columna de piedra interceptada por filas a distancias regulares formando una traza de parrilla; tales elementos son conocidos como niveles, mientras que el área de los cuadros que delinean se conoce como bombeo. Los niveles, como su nombre lo indica, son las líneas encargadas de producir planos ligeramente inclinados a los lados del camino, los cuales son rellenados por el bombeo, formando así tendidos que deslizan el agua de lluvia a los costados de la vialidad, impidiendo de esa manera que se inunde por la acumulación de agua. El espacio promedio entre las filas que interceptan la columna (la distancia entre cada intercepción) es de 2.10 m y su largo es de 4.60 m, por lo que el área promedio de un cuadro de bombeo es de 9.66 m<sup>2</sup>.

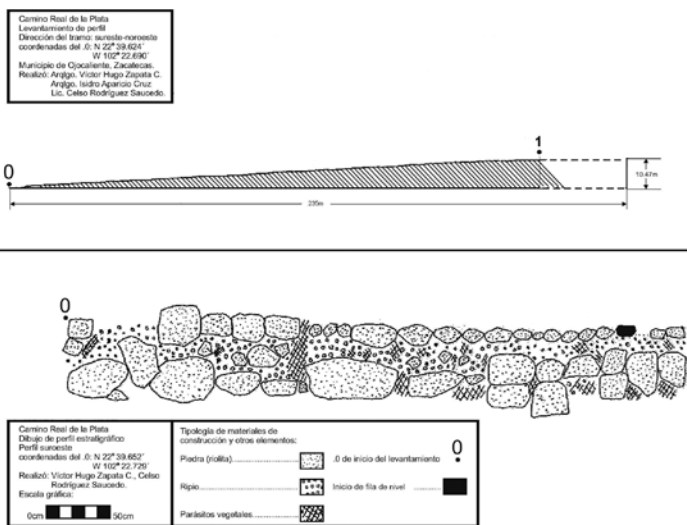


Figura 5. Perfil de la pendiente surestenoeste de un tramo del camino y perfil estratigráfico.

La pendiente del tramo del camino esquematizado (figura 5, recuadro superior) es de 4.45%, el material de construcción predominante es la riolita, observándose en mucho menor medida la presencia de escoria roja, tezontle, basalto y limonita. La mezcla de unión de las piedras es de cal, arena y grava, abundando también el ripio de 2 a 4 cm de diámetro. Habiendo realizado un muestreo sistemático para cada tipo de piedra de acuerdo con su función constructiva, el tamaño promedio de las medidas de superficie de los “adoquines” del empedrado es de  $12 \times 18 \text{ cm}^2$  para los que sirven de bombeo, y de  $36 \times 23 \text{ cm}^2$  para los usados en los niveles, mientras que los componentes pétreos empleados en el basamento o posible cimentación, como es de esperarse, tienden a ser los más grandes (figura 5, recuadro inferior), presentando un volumen promedio de  $44 \times 32 \times 23 \text{ cm}^3$ .

## Análisis de datos

### Técnicas de construcción

La construcción en piedra es de forma tosca e irregular; usada conforme es extraída de la cantera se llama mampostería, y es una técnica que se eje-

cutaba por el albañil; idealmente, la piedra adecuada es la de mayor densidad de masa, es decir, la más dura y pesada, buscando los elementos pétreos de forma cercana al cubo, provistos de ángulos, los que permitan sentarlos y trabarlos entre sí para formar el tejido constructivo.<sup>14</sup> Las piedras que se pueden observar en el perfil estratigráfico de la figura 5 guardan las características descritas; sin embargo, existen mejores materiales de construcción en cuanto a buscar la roca más pesada y dura; tal es el caso del basalto, que tiene una mayor densidad de masa respecto a la riolita, siendo esta última la piedra que prácticamente constituye al camino. La razón de tal selección puede atribuirse a que se usó el material más fácil de angular y el más abundante en la región, considerando también que la toba de riolita en particular llega a presentar incrustaciones de otros minerales, por lo que puede ser más quebradiza.

Las partes de un elemento de mampostería —es decir, una piedra irregular para la construcción— se denominan: paramento para la parte frontal, que es la que se encuentra expuesta en el muro; lecho, que es la sección donde se asentará otra piedra; sobrelecho, que es la parte que se sentará sobre otra piedra; trasdós, que es una cara opuesta al paramento, la cual puede ir unida a otra piedra para formar el grueso de un muro; y las juntas, consideradas superficies que forman la unión entre piedras por sus lados.<sup>15</sup> En la figura 5 del perfil estratigráfico es posible observar en el tejido constructivo el lecho, sobrelecho, juntas y el trasdós.

Para la ubicación de la piedra en el tejido constructivo se escogen las áreas de ésta de acuerdo con las funciones referidas; de esa manera la sección más plana y con la dimensión más larga puede ser el paramento, en el caso del lecho, para com-

<sup>14</sup> Juan de Villanueva, *Arte de albañilería*, Madrid, Editorial Nacional, 1984, p. 57.

<sup>15</sup> *Ibidem*, pp. 77-78.

### Esquema A

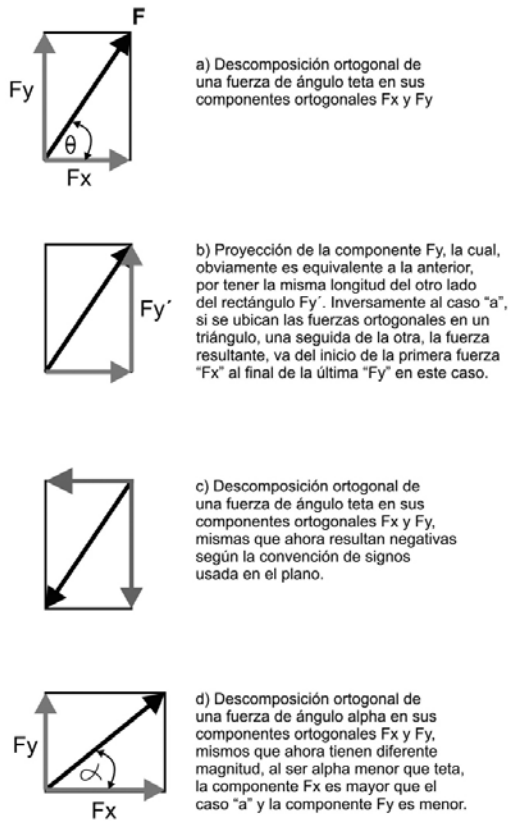
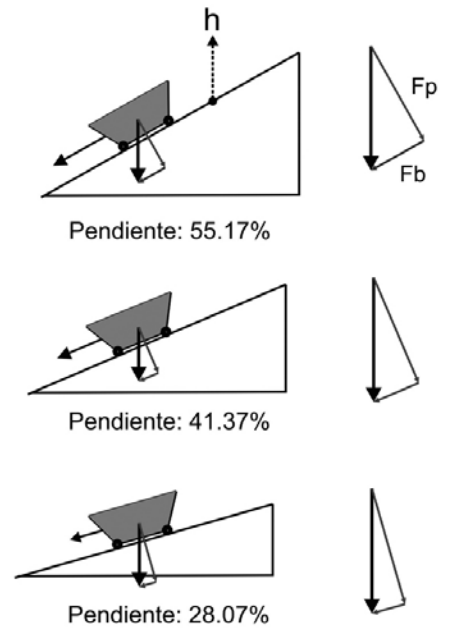


Figura 6. Análisis de pendiente.

### Esquema B



Por el mismo principio de la descomposición de una fuerza en sus componentes ortogonales, "Fp" ahora es perpendicular a la fuerza peso ( $F_b$ ), paralela a "h". Se observa que la fuerza peso "Fb" paralela a la hipotenusa "h", se hace menor si la pendiente es menor, de esa manera, una fuerza empleada para mover un objeto, será ahora inversa a la fuerza peso "Fb" del objeto y tenderá a ser menor entre menor sea el porcentaje de la pendiente.

pensar irregularidades; se traba el sobrelecho con cantos y cuerpos de piedra menores, y en el caso de que exista una diferencia de áreas entre las dos secciones referidas, se suple con elementos alargados denominados "llaves".<sup>16</sup>

La técnica de construcción en mampostería comienza con la abertura de zanjas hasta un suelo firme, colocando dentro de éstas las piedras de mayor volumen, aplicando encima una capa de mezcla cal-arena para sentar encima otra hilada de piedras de acuerdo con las técnicas ya mencionadas, complementando que las irregularidades del asiento lecho-sobrelecho ahora pueden ser compensadas por la misma mezcla y ripios para formar planos casi rasos, siguiéndose el procedimiento de asentar hiladas hasta alcanzar una altura determinada en muros de gran grosor, como lo es el caso de estudio,

<sup>16</sup> *Ibidem*, p. 79.

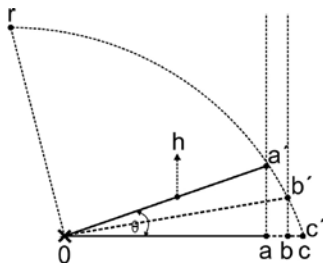
se compactan los materiales con un pisón<sup>17</sup> a fin de incrementar la densidad de la construcción.<sup>18</sup> En el caso de estudio es posible observar en el perfil estratigráfico (figura 5) la aplicación de las técnicas descritas, observando piedras de gran volumen al fondo, cuyo trasdós es plano y en algunos casos conserva la dimensión más larga. También es posible observar una gran cantidad de ripios sueltos, por lo que se puede deducir un deterioro común, que es la disgregación de la mezcla de unión.

#### Análisis de la pendiente

En lo referente al análisis de la pendiente, en la figura 6 se presentan los esquemas de acuerdo con

<sup>17</sup> Herramienta de albañilería con mango largo y una masa en uno de sus extremos.

<sup>18</sup> Juan de Villanueva, *op. cit.*, pp. 81-83.



A medida que se reduce el ángulo de inclinación de la hipotenusa (radio) mediante el recorrido del círculo, la distancia existente entre el cateto opuesto y el punto "0" se incrementa, prolongándose la longitud del cateto adyacente. De esa manera, en el ejemplo:  $0-a \angle 0-b \angle 0-c$ .

Figura 7. Reducción de "teta" e incremento de la longitud del cateto adyacente.



Figura 8. Camino Real de Tierra Adentro, tramo Ojocaliente, Zacatecas. Detalle.

el principio de descomposición ortogonal de una fuerza en sus componentes ortogonales, y de la posibilidad de representar a dicha fuerza de manera gráfica, haciendo corresponder su magnitud con una longitud a escala determinada.<sup>19</sup>

Se aprecia que si la pendiente es pequeña, la fuerza (masa  $\times$  aceleración) de empuje de un objeto que lo sube cuesta arriba también lo será, también por principios físicos, si la pendiente es muy grande o cercana a la vertical (caída libre) para un objeto móvil cuesta abajo la aceleración se incrementa, al igual que la fuerza, y el frenado de este objeto se hace más complicado; así pues, tanto cuesta arriba como cuesta abajo, se prefiere para caminos las pendientes de un porcentaje reducido<sup>20</sup> (figura 6).

### Conclusiones

Respecto al principio físico que pudo emplearse para el trazo del camino relativo a las pendientes,

evidentemente estarían en consideración los pesos (fuerza peso), de los objetos que se trasladarían por el mismo y sus mecanismos de frenado. El principio de Stevin<sup>21</sup> de descomposición de una fuerza en componentes ortogonales data de finales del siglo XVI (1586); sin embargo, desde el libro de Herón de Alejandría<sup>22</sup> (10-70 d. C.), *Mecánica*, se hace alusión al plano inclinado, afirmando como regla que si se reduce la pendiente alargando la distancia, la fuerza empleada para mover un objeto será menor; por lo tanto, es probable que se contara con procedimientos similares al principio de Stevin, con los cuales, analizando de modo mecánico las pendientes naturales de un territorio, probablemente por medio de procedimientos geométricos, los ingenieros de caminos elaborarían sus trazos. De acuerdo con la regla referida, se expone, en la figura 7, un esquema para la reducción del ángulo de inclinación de "h", y el incremento del cateto adyacente.

<sup>19</sup> Para más referencias, consúltese Harry White E., *Física descriptiva*, México, Reverté, 2003, pp. 39-45.

<sup>20</sup> La pendiente (tangente) se define como la relación entre el cateto opuesto y el cateto adyacente, dentro de un eje de coordenadas  $m = y_2 - y_1 / x_2 - x_1$ .

<sup>21</sup> Mario de Jesús Carmona y Pardo, *Estática en arquitectura*, México, Trillas, 2007, p. 20.

<sup>22</sup> Miguel Hernández González, "Aplicaciones mecánicas de la geometría", en *Historia de la Geometría Griega*, actas, año I, Tenerife, I. B. la Orotava, 2004, pp. 570-571.