

# Tecnología andina y española: Características constructivas de la torre de adobe de la iglesia virreinal San Cristóbal de Huánuco, Perú

## *Andean and Spanish technology: Constructive characteristics of the adobe tower in the colonial church of San Cristobal de Huánuco, Peru*

Pedro Hurtado-Valdez (\*)

### RESUMEN

La presencia de alarifes españoles en Perú durante el siglo XVI dio inicio al empleo de técnicas constructivas novedosas en los Andes. Pronto se observó que dichas técnicas no soportaban fenómenos sísmicos frecuentes y de elevadas magnitudes muy comunes en estas tierras. Los maestros constructores estudiaron la tecnología andina y adaptaron la arquitectura española a las características sísmicas del nuevo territorio ante los persistentes daños ocasionados por los terremotos en sus edificaciones. El presente trabajo analiza las características constructivas de los edificios construidos en los Andes centrales de Perú, como fruto de un mestizaje constructivo para mejorar el desempeño de sus estructuras, a partir del relevamiento y análisis del colapso de la torre construida con adobe en la iglesia de San Cristóbal en Huánuco-Perú.

**Palabras clave:** Torres, tecnología en tierra, construcción virreinal, mestizaje constructivo.

### ABSTRACT

*The presence of Spanish builders in Peru during the sixteenth century began the use of innovative construction techniques in the Andes. It was soon observed that these techniques did not support frequent seismic phenomena of high magnitudes very common in these lands. The master builders studied Andean technology and adapted Spanish architecture to the seismic characteristics of the new territory in the face of the persistent damage caused by earthquakes in their buildings. The present work analyzes the constructive characteristics of the buildings built in the central Andes of Peru, as a result of a constructive miscegenation to improve the performance of their structures, from the architectural survey and the analysis of the tower built with adobe in the church of San Cristóbal in Huánuco-Peru.*

**Keywords:** Towers, earthen technology, colonial construction, constructive miscegenation.

(\*) Doctor arquitecto. Universidad Científica del Sur, Lima (Perú).

Persona de contacto/Corresponding author: [alarife68@yahoo.it](mailto:alarife68@yahoo.it) (Pedro Hurtado-Valdez)

ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-5575-9653> (Pedro Hurtado-Valdez)

---

**Cómo citar este artículo/Citation:** Hurtado-Valdez, Pedro (2020). Tecnología andina y española: Características constructivas de la torre de adobe de la iglesia virreinal San Cristóbal de Huánuco, Perú. *Informes de la Construcción*, 72(559): e350. <https://doi.org/10.3989/ic.72150>.

**Copyright:** © 2020 CSIC. Este es un artículo de acceso abierto distribuido bajo los términos de la licencia de uso y distribución Creative Commons Reconocimiento 4.0 Internacional (CC BY 4.0).

Recibido/Received: 14/04/2019  
Aceptado/Accepted: 04/10/2019  
Publicado on-line/Published on-line: 01/09/2020

## 1. INTRODUCCIÓN

El objetivo principal del presente artículo se dirige a explicar las características constructivas de la torre de la iglesia San Cristóbal de Huánuco, por haber sido una de las edificaciones de adobe más representativas de la ciudad y como modelo de este tipo de construcciones de los Andes centrales de Perú. Precisamente su colapso parcial permitió contar con información de primera mano para evidenciar sus características constructivas y entender las causas de su caída. El desarrollo de la investigación se dividió en tres partes, la primera correspondió al relevamiento geométrico, constructivo y de daños observados en la fábrica. La segunda parte constituyó las analíticas llevadas a cabo en las unidades de adobe como son la conformación granulométrica y la determinación de su capacidad portante a esfuerzos de compresión axial. La tercera parte estaba referido a la determinación de las causas que originaron su colapso a pesar de haberse mantenido en pie durante siglos en una zona sísmica, tan igual como otras torres de similares características existentes en la región.

La ciudad de Huánuco se encuentra situada en la parte central y oriental de Perú a 1800 metros sobre el nivel del mar, entre los  $9^{\circ} 55' 46''$  de latitud Sur y los  $76^{\circ} 14' 23''$  de longitud Oeste. Se localiza a 410 km de Lima, la capital de la República, sobre el valle formado por el río Huallaga que definen los comienzos de la selva de montaña. Políticamente pertenece al departamento de Huánuco y es capital de la provincia del mismo nombre. La zona presenta una topografía delineada por el relieve accidentado del flanco oriental de la cordillera de los Andes, pero que marca también un sector llano correspondiente al valle donde se asienta la ciudad en el margen izquierdo del río Huallaga y del río Higuera.

La vida de Huánuco como centro poblado comienza casi en forma paralela a la desaparición del imperio de los Incas. La primera fundación corresponde al 15 de agosto de 1539, realizada por el Capitán Pedro Gómez de Alvarado y Contreras en Huánuco Pampa. Debido a los constantes asedios por parte de la etnia Yarowilca, la urbe fue trasladada a fines de 1539 por el Capitán Pedro Barroso al valle del Pilloco junto al río Huallaga, a una distancia de 140 km de su original ubicación, asentándose con la categoría de villa.

En octubre de 1542, el Gobernador Vaca de Castro comisionó a Pedro de Puellas la repoblación de Huánuco, para lo cual realizó el trazo definitivo en cuadrícula que define su trama urbana. Recién el 2 de febrero de 1543 se materializa el trazado en el territorio y se le restituye su categoría de ciudad con el título de “León de Huánuco de los Caballeros”, levantándose el acta de distribución de solares (1). Las principales órdenes religiosas no tardarían en llegar a Huánuco y establecerse, según arribaban a territorio peruano: los dominicos en 1532, los franciscanos en 1532, los mercedarios en 1533, los agustinos en 1551 y los jesuitas en 1568.

La descripción e imagen de Huánuco presentada en “El primer nueva corónica y buen gobierno”, muestra que para inicios del siglo XVII la ciudad ya contaba con construcciones de arquitectura religiosa, dentro de la cual emergían en el panorama de la urbe las iglesias con sus torres:

“La dicha ciudad de león, águila rreal de Guanoco, guaman, poma. De todo el rreyno, acá bezinos y caualleros y soldados y justicias, yndios y negros en común, no an seruido como

la ciudad de Guanoco a su Magestad tanto como esta dicha ciudad...Y ancí fue segunda persona y su bizzorrey del Ynga en todo este rreyno, príncipe, excelentísimo señor, duque de Alua de la casa de Ayala, la fuerza de la magestad del Ynga y después del rrey enperador y del rrey don Phelipe el segundo y el tercero, monarca del mundo que Dios le acreciente salud y uida y más rreynos del mundo.

Esta dicha ciudad fue fundada en el año de mil y quinientos treynta y nueue, ciendo papa Paulo tres de su pontificado nueue, enperador don Carlos de su enperio doze y de su rreynado treze. Se fundó este dicho león de Guanoco y la uilla de Pasto...Detrás de esta ciudad de Guanoco está y pasa el rrió caudaloso del rrió Marañón que ua y pasa por Cartagena, adonde ay lagartos y serpientes. Noble gente de pas y bien criados y tienen yglesias y monasterios y cristiandad y pulicía” (2).

## 2. LA IGLESIA SAN CRISTÓBAL

La iglesia San Cristóbal se encuentra localizada dentro del centro histórico de la ciudad de Huánuco a 300 metros de la Plaza de Armas, en la esquina formada por las calles San Cristóbal y Dámaso Beraún, dentro del barrio Calicanto. Esta ubicación muestra su cercanía a la orilla izquierda del río Huallaga en proximidad al puente de piedra denominado igualmente Calicanto.

La fachada principal de la iglesia se orienta hacia la calle Dámaso Beraún y a la plazuela San Cristóbal, la cual abre el espacio de la calle haciendo que la iglesia tenga una visual importante dentro del tejido urbano de esta parte de la ciudad. El frente del templo se conforma por el atrio, la portada principal, que permite el acceso a la nave, y la antigua torre

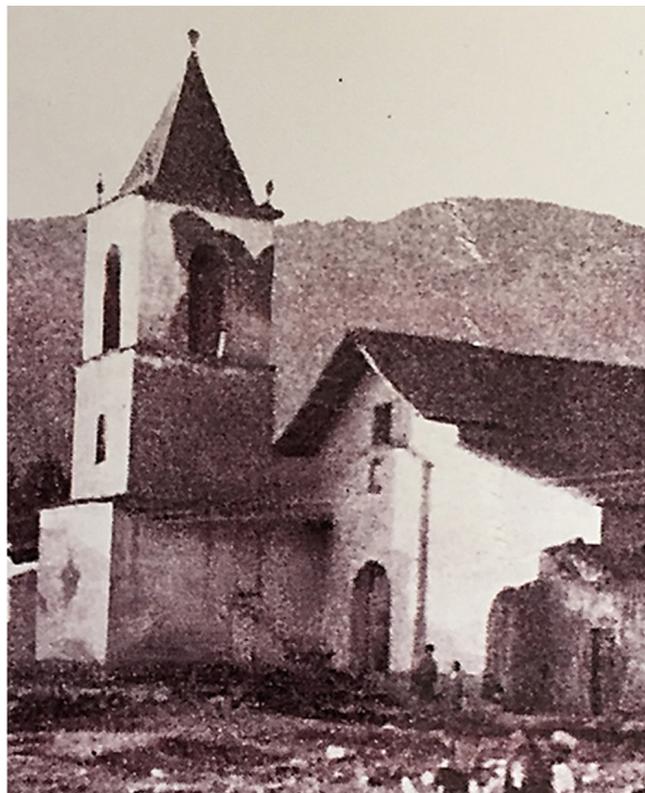


Figura 1. Fachada principal de la iglesia San Cristóbal previo al colapso (Archivo Histórico Huánuco).

situada en el lado del evangelio (Figura 1). La iglesia ocupó inicialmente una buena porción de la manzana donde se sitúa, habiendo cedido en el pasado parte de la superficie del solar original a la Beneficencia Pública de Huánuco.

Las iniciales noticias sobre el edificio aparecen en el relato de Pérez (1942) quien indicaba que la iglesia San Cristóbal fue el primer templo edificado en la ciudad de Huánuco, sobre el mismo lugar en el que Fray Pablo de Coimbra había celebrado la primera misa de la ciudad en 1540 y que había llegado acompañando a los conquistadores en calidad de fraile confesor. La iglesia fue denominada originalmente como San Cristóbal de los Yanaconas y dedicada como capilla de indios (3). Para 1647 la iglesia funcionaba plenamente administrando el culto a los indios, según los testimonios que dieron Pedro Lorenzo Agustín de Acebedo y Félix de Ayala al arzobispo de Lima sobre pleitos entre los indios y su entonces párroco Licenciado Agustín de Aller (4).

Conforme al plano de Isidro Gálvez de 1778 se observa que para esa fecha la iglesia ya tenía su configuración definida, con la torre que se proyectaba por fuera del alineamiento de fachada de la actual calle Beraún y los contrafuertes de la nave central que invadían la calle San Cristóbal. Posición que aparecía en medio de un panorama urbano definido por los huertos de la iglesia, tal como llegaría hasta inicios del siglo XX.

La iglesia San Cristóbal contaba inicialmente con instalaciones anexas de enfermería y convento, que luego se separarían para conformar el hospital San Juan de Dios. Al respecto Pérez (5) menciona que en el siglo XIX “La iglesia que servía al Hospital, con el anticuado nombre de Parroquia de San Cristóbal, los indios no la quisieron ceder; condenaron su puerta colateral, y así independiente la mantienen hasta el día, administrando sacramentos en ella por turno, los párrocos de la Ciudad, que les alternan por interés”. Similarmente el inventario de conventos realizado en el año 1827 refiere a las instalaciones del Convento San Juan de Dios, separadas de la iglesia San Cristóbal (6).

A pesar de su importancia la iglesia dejó de recibir mantenimiento, porque recién en 1921 se realizaron refacciones en el templo, según confirma la solicitud presentada el 30 de noviembre de 1921 por Nicasio Cifuentes, tesorero de la iglesia, en donde se hacía constar la ruina del edificio, por lo que se formó una comisión con la finalidad de evaluar su estado de conservación (7). El 12 de diciembre de 1921 el Obispo de Huánuco autorizó el desembolso de ciento cincuenta soles de la época para la reparación de los daños observados en la iglesia. En 1974 la torre presentaba algunas grietas y se reforzó construyendo un encamisado de ladrillo asentado con mortero de cemento con la intención de contener interiormente la fábrica. En el año 2014 la torre colapsó parcialmente en su lado sur, el cual daba al atrio de ingreso a la iglesia. Este hecho circunstancial permitió tener una aproximación de primer orden para el relevamiento constructivo de la torre que fue confrontada con los estudios posteriores para su reconstrucción.

## 2.1. Planta

La iglesia San Cristóbal tiene una planta en cruz latina, formada por dos naves abovedadas de cañón corrido e intersecadas en un crucero sin cúpula. Presenta un arco toral que separa el altar mayor de la nave, el cual ha sido recortado. En el crucero hacia el lado del evangelio aparece la capilla dedi-

cada al Señor del Huallaga. Asimismo, en el muro del evangelio existe un confesionario realizado en la antigua conexión con el hospital. En el muro lateral de la epístola que da hacia la calle San Cristóbal presenta una capilla profunda dedicada a la Virgen Dolorosa, otra capilla correspondiente al antiguo bautisterio, y dos capillas hornacinas, una dedicada a la Virgen de la Asunción y otra al Arcángel San Miguel.

La torre estaba emplazada de manera exenta y situada al lado del evangelio cercana a la portada principal. La situación de torre exenta del cuerpo principal de una iglesia constituyó un esquema proyectual común típica en los Andes centrales, como atestiguan aún hoy en día las torres de Quicacán, Nuestra Señora de la Natividad de Panao y la iglesia San Pedro de Cani en Huánuco o las torres de las iglesias de Yacán, Paucar y Chinchán, situadas en las regiones limítrofes entre Pasco y Huánuco.

La planta de la torre era prácticamente cuadrada, con un primer cuerpo completamente macizo realizado con adobes, procedimiento constructivo típico de este tipo de torres, dejando como espacio interior únicamente el correspondiente para el desarrollo de la escalera de acceso al espacio destinado a las campanas cubierto por una bóveda de adobe y que iba decreciendo y aligerándose en los dos cuerpos superiores (Figura 2)

Las torres realizadas con tierra no constituían una novedad para los constructores hispanos llegados a Perú, ya que este tipo constructivo existía por entonces en la península ibérica. Las torres españolas se conformaban con cubos macizos realizados con muros de tapia. Técnica inicialmente empleada para construcciones militares, fue posteriormente asimilada en la edificación de campanarios de iglesias, por ejemplo, en la región de Castilla y León (8). Esta tipología edilicia se trasladó a Hispanoamérica y terminó fusionándose con las técnicas constructivas prehispánicas, debido a que la mano

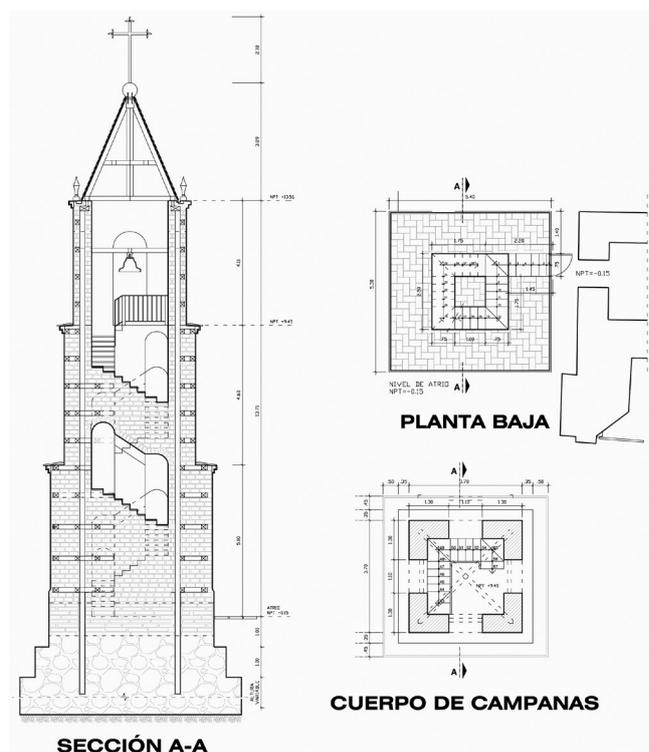


Figura 2. Sección constructiva de la iglesia San Cristóbal (Hurtado Valdez, P.).

de obra aprovechada para la construcción de los nuevos edificios en los Andes peruanos solía ser la población local, que por entonces se encontraba familiarizada con el empleo de la tierra como material de construcción en sus diferentes variantes edilicias (9).

## 2.2. Alzados

La fachada de los pies de la iglesia concluía con una torre que conjuntamente con la portada principal concentraban toda la decoración externa, mostrando el contraste entre forma y fondo propio de las composiciones estilísticas de las iglesias huanuqueñas.

La torre de San Cristóbal tenía líneas limpias, organizada en tres cuerpos y chapitel de remate. El primer cuerpo o cuerpo de base estaba constituido por un prisma sólido mientras que el segundo cuerpo mostraba líneas sobrias y casi sin relieves ni vacíos en consonancia con las torres coetáneas de Huánuco, como en el caso de la antigua torre de la Catedral, acrecentado la sensación de pesadez que le brinda el carecer de pilastras en sus caras exteriores.

## 3. CARACTERÍSTICAS CONSTRUCTIVAS

### 3.1. Cimentación

Con la finalidad de tener una idea más clara de las características de la cimentación y determinar el impacto que tuvieron en la construcción original las acciones efectuadas por el párroco durante el proceso de limpieza y desescombro, se realizaron las siguientes catas de exploración:

#### Cata de exploración 1:

El punto de inicio se ubicó a 4,00 m de la fachada del templo y a 0,80 m del límite de propiedad en colindancia con el predio de la Beneficencia Pública de Huánuco, junto a la depresión por asentamiento que se observaba en el atrio del templo. La cata tenía las dimensiones de 0,80 m x 0,80 m y su objetivo fue determinar si el asentamiento observado en superficie comprometía la cimentación. Se detectó la presencia de material disturbado para la realización de nuevos cimientos con lajas quebradizas y mortero de barro sin tamizar, por lo que se encontró presencia de basura moderna (plástico) en el mortero.

#### Cata de exploración 2:

El punto de inicio se ubicó a 3,60 m de la fachada del templo, en la posición del muro de la torre que daba a la calle Beraún y a 2,70 m del límite de propiedad en colindancia con el predio de la Beneficencia Pública de Huánuco. La cata tenía las dimensiones de 1,00 m x 1,50m con profundidad variable y su objetivo fue determinar el grado de disturbación que las acciones de limpieza y remoción de escombros produjeron en la cimentación. Se detectó la presencia de material disturbado con basura contemporánea (plástico, papel, metal, envolturas de aluminio). Se observó la realización de cimientos y sobrecimientos con lajas quebradizas y mortero de barro sin tamizar, por lo que se encontró presencia de basura moderna en el mortero. El afirmado de base estaba altamente compactado.

Como resultado de las catas de exploración se determinó que la cimentación estaba conformada por una platea pétre

escalonada que se apoya sobre un suelo de arcilla con alta compactación. La profundidad era variable de 1,00 a 1,40 m por cada nivel de escalonado. La piedra usada correspondía a aquella disponible en la vecindad, principalmente canto rodado proveniente de río con dimensiones promedio de 0,30 m. Estas piedras estaban asentadas sin mortero y con arena como relleno de las juntas, al parecer para dificultar el ascenso de humedad capilar. En la nueva cimentación se encontraron cantos rodados y lajas mezcladas asentadas con mortero de tierra sin tamizar, por lo que era normal encontrar presencia de basura moderna (Figura 3).

### 3.2. Sobrecimiento

Era de norma en Huánuco durante el Virreinato colocar lajas pétreas de gran formato sobre la cimentación, con la finalidad de disminuir la ascensión capilar de la humedad hacia los muros de adobe, a la vez que nivelaba la superficie para la posterior colocación de las unidades de adobe. El sobrecimiento existente y que correspondía a la nueva actuación, estaba colocado a altura variable respecto al nivel del suelo entre 0,10 m y 0,20 m y con un ancho aproximado de 0,80 m. Las dimensiones de las piedras son variadas y el mortero utilizado es de barro sin tamizar con presencia de mucha basura moderna.

### 3.3. Muros

La torre tenía muros realizados con adobe de dimensiones 0,27 m de ancho (una tercia), 0,55 m de longitud (dos tercias) y 0,13 m de espesor (una sesma), que corresponden a los submúltiplos dimensionales de la vara castellana (0,84 m) como unidad del sistema de medidas empleado en el Virreinato del Perú (10). Al respecto, existe una coincidencia dimensional con las medidas incas cuyo patrón antropométrico a partir de la "Rikra" equivale a 167,18 cm, que significa aproximadamente 2 varas castellanas (11).

Los adobes estaban asentados con mortero de barro. Asimismo, la parte interna de la torre correspondiente a la zona de acceso, presentaba un relleno de tierra. Evidencias que se han perdido con la intervención posterior al colapso de la edificación. La torre tenía un acceso en arco efectuado con adobes y servía de conexión con el antiguo hospital que pertenece actualmente a la Beneficencia Pública de Huánuco. El cuerpo de campana también mostraba arcos en sus cuatro lados (Figura 4).



Figura 3. Cata realizada mostrando las características del suelo y la cimentación de la torre (Hurtado Valdez, P.).



Figura 4. Características de los muros y arcos de la torre (Alfaro, A.).

### 3.4. Entreplantas

La torre de San Cristóbal presentaba entreplantas con encañados de madera rolliza sin escuadrar que mantenían en su posición a los muros, evitando la pérdida de plomo ante movimientos sísmicos o asentamientos diferenciales.<sup>3</sup> Asimismo, poseía un entramado de madera con cobertura de barro en los niveles que definía cada cuerpo del edificio, lo que le daba una apariencia de piso natural. Es interesante la referencia de Protzen refiere sobre las construcciones prehispánicas en Ollantaytambo (Cusco), donde se acostumbraba colocar en los muros troncos de aliso (*Alnus jorullensis*) amarrados mediante cordeles de fibra vegetal (*Fourcroya andina*) (12).

### 3.5. Pavimentos

El pavimento era el tradicionalmente efectuado durante los siglos XVI-XVII en la región y solían ser lajas colocadas sobre los adobes de relleno, asentados con mortero de tierra.

### 3.6. Revestimientos

La torre exhibía un encamisado de ladrillo revestido con mortero de cemento y pintura látex, lo que demostraba que era una intervención contemporánea. El recubrimiento que se ha visto en el ambiente donde se encuentra la actual escalera para el acceso al coro, colindante a la ubicación de la torre, presenta un revestimiento de barro con enlucido de yeso y chuná, que es un material orgánico extraído de una variedad de planta cactácea (*Espostoa lanata*), colocado a manera de una malla de fibra vegetal (Figura 5). El revestimiento original de la torre tuvo las siguientes características:

- Enfoscado: Compuesto por barro sin cernir, arena gruesa y paja larga, incluyendo algunas piedras pequeñas. Se usaba para emparejar los muros de adobe, en este caso nunca quedaba expuesto, siempre se encontraba cubierto por otro revoco más fino.
- Enlucido: Elaborado con barro cernido, arena gruesa y paja corta, y se le acondicionaba fibra vegetal proveniente del chuná.
- Empaste: Elaborado con yeso sobre el cual se colocaba pintura con tierra natural (blanco), que mostraba el acabado final de la fábrica.



Figura 5. Revestimiento original de la torre con inclusión de fibras vegetales (Hurtado Valdez, P.).

### 3.7. Cubierta

La iglesia fue cubierta originalmente con una estructura de madera en par y nudillos, sobre el cual llevaba un techo de tejas. La cubierta de la torre lo constituía un chapitel piramidal con estructura interior de adobe, presentando originalmente pináculos en las cuatro esquinas de la base y una cruz metálica como remate en la parte alta.

## 4. ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO ESTRUCTURAL

### 4.1. Levantamiento topográfico

Se realizó un levantamiento topográfico en febrero de 2016 dentro del atrio del templo y en las calles San Cristóbal y Beraún para determinar los niveles y perfil real del conjunto religioso. Los resultados del levantamiento mostraron que el nivel del atrio, que está por debajo de la vereda, se encontraba a su vez en un nivel superior a la calle por lo que no había problemas de filtración de agua desde el nivel de circulación vehicular. Sin embargo, las alturas de los niveles tomados dentro del atrio indicaban una pendiente en dirección de la posición de la cara sur de la torre, es decir que las escorrentías de aguas pluviales del atrio se concentraban en esta zona.

Del levantamiento efectuado en el entorno inmediato se pudo concluir que la pendiente de la calle San Cristóbal concentraba escorrentías pluviales hacia la vereda del templo con lugares de empozamiento de agua, que a través de las fisuras existentes en las calzadas aportaba humedad al subsuelo,

mientras que evitaba la evaporación de esta humedad por estar sellada con cemento y asfalto.

#### 4.2. Estudio de la cimentación

Dentro del contexto de la investigación se realizaron catas de exploración para observar las características del suelo y el tipo de cimentación empleada en la construcción de la torre, con la finalidad de detectar posibles lesiones existentes y que contribuyan a esclarecer las causas del colapso parcial de la torre. A tal efecto se realizó una cata de exploración a cielo abierto a un lado del sector noreste del lugar donde se ubicaba la torre.

La técnica empleada se basa en la Norma Técnica Peruana 339.162:2001, del Reglamento Nacional de Edificación de Perú Norma E.050 suelos y cimentaciones. Se trató de obtener una muestra del suelo donde se encuentra cimentada la torre, pero no fue posible, ya que durante la excavación de muestreo se hicieron nuevos hallazgos que dieron otra perspectiva de la tecnología empleada para la construcción de la cimentación.

Las catas permitieron determinar que la torre tenía una cimentación compuesta por piedras de canto rodado convenientemente acomodadas, ya que el lecho de acomodo no era natural, sino que, como algunas muestras presentaban, existió cierto tallado para su correcto acomodo. Otra prueba de que existió una cimentación compacta tipo platea son las piedras depositadas en el atrio de la iglesia, que fueron retiradas y acumuladas después del derrumbe de la torre.

#### 4.3. Conformación de las unidades de adobe

Para caracterizar el suelo que conforma las unidades de albañilería de tierra con las que fue construida la torre se tomaron muestras en la misma iglesia, que correspondían a piezas de adobe de la torre, las cuales fueron recuperadas posteriormente a su caída, y que habían sido almacenadas por el sacerdote a cargo del templo.

Con los adobes originales se procedió a su etiquetado y traslado a laboratorio para obtener muestras representativas para la realización de los diversos ensayos, por lo cual se cortó el adobe para su ensayo a esfuerzos de compresión y con las partes sobrantes se realizaron muestras para los ensayos de granulometría. Habiendo obtenido la muestra se procedió a su pesado y saturación para ser lavado y tamizado. El proceso de saturación se realizó con agua destilada para evitar que el cloro del agua potable afecte sus características o lo desintegre. Seguidamente, el lavado se realizó con agua declorada y almacenada para no exponer al cloro a los tejidos orgánicos. La muestra orgánica contenía hasta tres variedades de plantas de la zona. Igualmente, como parte del material orgánico aparecieron restos de semillas, caracoles y tejido óseo.

De los ensayos de granulometría realizados se pudo determinar que las unidades de adobe estaban conformadas por un suelo limo arenoso de baja plasticidad, cuyos componentes eran arcilla (12%), limo (30%), arena (55%) y grava (3%). Por otro lado, el contenido de tejido orgánico (paja y chuná) era del 0.39%, que haciendo estimaciones se podría decir que la proporción de paja era 1% en peso (Figura 6).



Figura 6. Determinación de los materiales componentes de los adobes (Hurtado Valdez, P.).

En cuanto a los límites de Atterberg este tipo de suelo arrojó un límite líquido de 22%, un límite plástico de 17% y un índice de plasticidad de 5.

#### 4.4. Determinación de la capacidad mecánica de los adobes

Para determinar la resistencia a la compresión de los adobes originales y estar dentro de los reglamentos vigentes en Perú se siguieron los lineamientos de la Norma E.080 Adobe. Aquí se indica los procedimientos y los parámetros para las resistencias mínimas a las que deben llegar las muestras para ser aceptadas. Se tomaron los valores según el art.8 de la Resistencia Última a compresión de la unidad de 12 kg/cm<sup>2</sup>, resistencia a compresión de la albañilería de 2 kg/cm<sup>2</sup> y la resistencia a aplastamiento de 1.25 del valor anterior. Al respecto, Tejada (13) recomendaba que la resistencia a compresión de los suelos no sea menor que 14,1 Kg/cm<sup>2</sup>, mientras que el proyecto de actualización del Reglamento Nacional de Edificación de Perú Norma E.080 contempla valores de 10,2 Kg/cm<sup>2</sup> para resistencia a compresión de la unidad y 6,12 Kg/cm<sup>2</sup> de resistencia a compresión de la albañilería.

Con piezas de adobe del templo se procedió a su etiquetado y traslado a laboratorio con la finalidad de obtener muestras representativas para la realización de los diversos ensayos, por lo cual se cortaron cubos de 10 x 10 x 15 cm. Posteriormente se colocó la muestra en la prensa convenientemente calibrada para la realización del ensayo de compresión axial.

De la realización del ensayo se determinó que la resistencia promedio de las unidades de albañilería a compresión era de solo 4,55 kg/cm<sup>2</sup> muy por debajo de los 12 kg/cm<sup>2</sup> que pide la Norma E-080. Comparando con los valores obtenidos por la Pontificia Universidad Católica del Perú en diversas edificaciones históricas levantadas con adobe, se tiene que los bloques de tierra de la iglesia de San Cristóbal están por debajo del estándar de 11Kg/cm<sup>2</sup> (14). Una explicación a este dato es que los adobes de la torre habían sido fabricados con tierra orgánica sin tamizar y con exceso de finos, como lo ha demostrado el ensayo granulométrico y que habría condicionado la reducción de su capacidad mecánica.

## 5. DETERMINACIÓN DE LAS CAUSAS DEL COLAPSO PARCIAL DE LA TORRE

### 5.1. Criterios constructivos empleados en las torres de adobe en los Andes centrales de Perú

La proporción de la torre mostraba una relación entre la base de apoyo en planta baja y la altura al arranque del chapitel de 1:3, similar a la torre de San Pedro de Cani. Se tienen casos de torres con proporciones mucho más conservadoras en la zona llegando a la relación 1:2, como en Yacán, lo que indica el empleo de un alto coeficiente de seguridad y que en la práctica significaba aminorar la esbeltez del conjunto (15). Datos sorprendentes si se considera el uso por alarifes locales de tratados de arquitectura como textos de consulta. A tal efecto, Alberti había designado como parámetro la altura de una torre en relación a la anchura de la base en 1:6, mientras que Rodrigo Gil de Hontañón había establecido dicha relación en 1:4 (16).

La zona centro andina peruana es de regular sismicidad, con manifestaciones cíclicas en la historia y consecuencias destructivas en los edificios, siendo una condicionante decisiva al momento de tomar decisiones sobre las técnicas constructivas a emplear tanto por alarifes hispanos como criollos. Resultado de la permanente búsqueda de soluciones sismorresistentes los maestros constructores juzgaron que el comportamiento de una edificación durante un sismo mejoraba si no se oponía resistencia al movimiento. El tema quedó mostrado en las deliberaciones que efectuaron los alarifes frente al Virrey y en los testimonios de la expedición científica española de 1748, quienes opinaron que "...jugando todo el Edificio con los estremecimientos de los Terremotos, y estando ligados sus fundamentos, siguen enteramente el movimiento de aquellos; y no haciendo oposición la fortaleza, aunque se sientan en parte, no caen, ni se arruinan tan fácilmente" (17).

En consecuencia, se planteó necesario colocar un estrato de elementos esféricos entre el terreno y el edificio, aislando este último al crear un asiento móvil en la cimentación. Este primer estrato estaba conformado por pequeños cantos rodados muy redondos sin mortero de unión. Sobre este nivel recién se disponían cantos rodados de mayor formato que correspondían a una platea de cimentación, los cuales se unían con mortero de cal o barro.

Antiguamente la consideración de crear un substrato bajo los edificios estuvo presente en otras culturas emplazadas en áreas sísmicas, como una forma de aislar la cimentación de los movimientos a partir de la colocación de arena, arcilla o capas de piedras sin ningún tipo de mortero. El objetivo principal no era anclarse perfectamente al suelo, sino que se produjera un cierto deslizamiento de las piezas que conformaban los cimientos, frente a la acción de los componentes verticales y horizontales que producen las ondas sísmicas (P y S principalmente). Se buscaba además que una vez finalizado el evento los elementos de la cimentación pudieran reacomodarse al estar confinadas por el terreno circundante, consiguiendo con esta acción disipar energía (18).

Similarmente, en la iglesia San Francisco de Santiago de Chile se encontró en la cimentación un nivel de cantos rodados sin mortero confinados con cuñas de piedra

que hizo suponer a Jorquera y Soto (19) la presencia de una voluntad por dotar a los edificios de elementos de aislamiento del suelo según la interpretación de una tecnología prehispánica ya existente. Esta fusión constructiva hispano andina se evidencia cuando se aprecian las mismas consideraciones sismorresistentes esbozadas en los cimientos del sitio arqueológico de Caral al norte de Lima. El empleo de las billas pétreas en el caso centro andino se ha notado en catas efectuadas en la iglesia San Cristóbal de Huánuco, la cual permitió determinar que su torre tenía una cimentación compuesta por piedras de canto rodado convenientemente dispuestas, además que el lecho de acomodo no era natural, sino que, como algunas muestras presentaban, existió cierto tallado en su colocación.

Los constructores antiguos también esbozaron soluciones para evitar la separación de los muros en las partes altas como perpiños, grapas y cadenas de hierro, los alarifes peruanos recomendaron la colocación de un encadenado de madera en los muros para impedir su disociación y evitar el vuelco, como resultado del efecto de borde libre ante una fuerza inercial actuando fuera del plano. Así en la propuesta estructural se consideraba prioritariamente dotar de trabas a los muros de la torre con el fin de evitar su separación y la aparición de fisuras. Este procedimiento fue advertido por Llano y Zapata en un informe enviado al Rey Fernando VI donde explicaba la razón de la colocación de encadenados en los edificios en Perú:

"Lo único, que da seguridad es la unión, o trabazón de las partes, que componen el edificio proporcionada a su misma robustez: si un gran fabrica de piedra esta sujeta con barras de hierro, u otra menor de ladrillo o tierra con maderos, ellas serán las mas seguras, porque aquellas trabazones o ligaduras impiden la desunión, que pudiera hacer el material, y aun demolido este, mantienen todas sus partes después de desunidas" (20).

En Huánuco los encadenados se efectuaban principalmente con rollizos obtenidos de troncos delgados con ramas recortadas, y en el cuerpo alto se colocaban además tirantes diagonales de madera para sostener las campanas, que en la práctica ayudaban a mantener en su posición muros y arquerías, evitando la pérdida de plomo ante movimientos sísmicos o eventuales empujes de los arcos (Figura 7). Esta inclusión de elementos leñosos para producir estructuras dúctiles frente a los sismos hace recordar a las edificaciones en el Himalaya, donde se laboraba mucho con la técnica de los entramados conformados por madera de escuadría y relleno de piedra rústica o ladrillo (21).

### 5.2. Comportamiento de la cimentación

De la inspección se pudo concluir que la cimentación original de canto rodado era de buena factura tratada como una platea en forma piramidal para toda la base de la torre y relleno los intersticios entre piedra con arena para evitar el ascenso de humedad capilar. De allí que la estabilidad de la cimentación estaba garantizada y no había fallado. No obstante, se evidenció también presencia de humedad a nivel de la rasante de suelo y por descenso desde el alero del primer nivel (por colapso de tubería de drenaje y falta de mantenimiento). Al no ser uniforme la filtración de las aguas pluviales en esta zona de la iglesia, se produjo un asentamiento diferenciado



Figura 7. Inclusion de elementos leñosos como atados de los muros de la torre (Hurtado Valdez, P.).

en dirección Sureste, como se observa en el asentamiento del pavimento de esta parte del atrio, pero fuera del área de apoyo de la torre.

Por su parte, la construcción de la zanja de drenaje pluvial en la calle Beraún, debido a su profundidad y cercanía con la torre, es la que ocasionó que la transmisión de cargas del cono de presión de la cimentación al suelo haya originado un primer deslizamiento de tierra hacia la zanja, debido a que el primer nivel de la platea de cimentación fue cercenado bruscamente (por desconocimiento de su existencia y el mal diagnóstico durante su ejecución). Asimismo, el empleo de maquinaria pesada durante los trabajos del drenaje, produjo una alta vibración de los suelos aledaños, ocasionando que la torre sufra un doble daño (Figura 8).

Además, la falta de mantenimiento de la tubería de desagüe del baño contiguo a la torre aportó algo de humedad a la base de la cimentación, pero debido a que el baño está ligado al muro que no llegó a fallar, explica que no haya sido un factor decisivo del colapso en esta zona, sino más bien en su desarrollo con dirección a la calle puede haber tenido roturas que si pudieran haber impactado con la cimentación. Similarmente el regadío del jardín vecino por sus dimensiones



Figura 8. Construcción del drenaje pluvial a un lado de la torre cortando la cimentación de la misma (Arbayzo, P.).

reducidas no debió aportar gran cantidad de agua como para cambiar el nivel freático de la zona, el cual está más asociada a las variaciones de nivel del río Huallaga, pero perturba por igual a todas las construcciones de la zona, además que el suelo no tiene naturaleza pantanosa para que esto pueda afectarla significativamente.

Es poco factible que la napa freática haya jugado un papel decisivo en el deterioro de los muros de la torre, toda vez que la cimentación era de muy buena factura y no se han observado edificaciones dañadas a nivel de colapso en las construcciones vecinas de similares características, ya que la napa freática debería de afectar por igual a todas las edificaciones de la zona.

### 5.3. Comportamiento de los muros

Los muros de adobe de las paredes Sur y Este habrían comenzado a perder plomo por aplastamiento en la base y fisurarse, debido inicialmente a la filtración de agua y luego acelerada por la vibración que ocasionó las obras de drenaje pluvial en la calle Beraún. Es probable que este daño haya comenzado a manifestarse mucho tiempo atrás y que motivaron la construcción del encamisado para contener la fábrica de la torre. Sin embargo, la construcción del encamisado no fue bien planeada, porque un muro de 0,25 m de ancho con la altura del cuerpo de base de la torre resulta demasiado esbelto para contener los empujes laterales que debió ocasionar la pérdida de plomo de los muros de adobe (Figura 9).

Por otro lado, el empleo de ladrillo con mortero de cemento habría resultado contraproducente, porque a nivel mecánico el encamisado no ataba los muros de la torre, a nivel físico evitaba la evaporación del agua contenida en los muros de adobe y a nivel químico trasladaba sales solubles del cemento al muro de tierra con la consiguiente microfracturación de las unidades de adobes durante el permanente proceso de cristalización de sales ante los cambios de temperatura durante el día y la noche. Es probable que se haya originado subeflorescencia de sales entre el muro de adobe y el de ladrillo, motivando disgregación y pérdida de material en el muro de tierra, perdiendo cohesión y área de sustentación, con lo cual empezaron a aparecer esfuerzos horizon-



Figura 9. Encamisado de ladrillo moderno con mortero de cemento que impedía la transpiración del agua contenida dentro de la torre (Hurtado Valdez, P.).

tales empujando el encamisado y excediendo su capacidad de carga lateral.

De acuerdo a las evidencias encontradas se observa que fallaron los muros sur frente a la calle Beraún y el primer tercio del muro Este con frente al atrio, dejando en pie aún los muros colindantes con la fachada de la iglesia y con la Beneficencia Pública de Huánuco, los cuales sufrieron desgarro en sus fábricas al ser traccionadas por el colapso de los otros muros.

En el encuentro de muros de la torre con la iglesia, se han producido fisuras y grietas motivadas por la diferencia de rigideces entre el volumen de la torre y el cuerpo de la iglesia, las cuales se deben de haber acrecentado por los esfuerzos producidas al momento del colapso de la torre. Si se considera que la torre tiene 17,00 m de altura y un peso específico aproximado de 1.800 Kg/m<sup>3</sup>, se tendría

que un pilar de 1 m<sup>2</sup> de área recibiría una carga en la base de 30.636 Kg o 3,06 Kg/cm<sup>2</sup>. Como el esfuerzo resistente del muro de adobe antiguo es aproximadamente 0,83 de la resistencia de la unidad se tiene que la albañilería debe resistir 2,54 Kg/cm<sup>2</sup> y aplicando el factor de corrección de la norma peruana para aplastamiento que es de 1,25 f m se tendría 3,18 Kg/cm<sup>2</sup> para este último valor.

En consecuencia, el adobe antiguo aún con sus bajos valores de resistencia a compresión por unidad (4,55 Kg/cm<sup>2</sup>), albañilería (3,77 Kg/cm<sup>2</sup>) y aplastamiento (4,71 Kg/cm<sup>2</sup>) no tendría inconveniente en admitir las cargas de la torre. Esto se evidencia en que los adobes de la torre soportaron su situación de carga por siglos sin colapsar, aún frente a movimientos sísmicos.

Por otro lado, la Pontificia Universidad Católica del Perú realizó ensayos para determinar la variación de resistencia mecánica de adobe secos y húmedos, dando como resultado que adobes con resistencia a compresión de 15-20 Kg/cm<sup>2</sup> disminuían a 5 Kg/cm<sup>2</sup>. Es decir, la influencia de la humedad en la capacidad portante de los adobes produce un regreso a su estado plástico con una reducción importante del orden 1/3 de la capacidad a compresión original, por lo que el adobe húmedo en la base de la torre tenía una resistencia de 1,51 Kg/cm<sup>2</sup>.

## 6. CONCLUSIONES

El colapso parcial de la torre de la iglesia San Cristóbal permitió tener un acercamiento de primera mano para evidenciar las características constructivas de las torres de adobe de los Andes centrales de Perú. La construcción de torres con tierra llegó a ser una práctica habitual en la región de Huánuco durante el siglo XVII, empleando para ello una mezcla de conocimientos hispanos y andinos. A la metrología y empleo del arco y bóvedas españoles se unió el uso de fibras naturales locales para el atado de los distintos niveles de las torres como se hacía en la arquitectura andina, además de incorporar la novedad de una cimentación con elementos móviles.

La caída de la torre no estuvo determinada por las características constructivas empleadas por los alarifes sino por la falta de mantenimiento y errores en los trabajos previos que se hicieron en el último tercio del siglo XX. Esta afirmación se evidencia en que el fallo se produjo precisamente por aplastamiento de la cara Sureste que estaba muy afectada por humedad, aunado al recorte parcial de la cimentación de esta zona y a la alta vibración de los trabajos de alcantarillado de aguas pluviales cercanos a la ubicación de la torre.

Por tanto, el sistema que desarrollaron los alarifes españoles y huanuqueños para construir torres de adobe constituye una importante herencia constructiva y que en situaciones normales no deberían fallar, como lo atestiguan las otras torres existentes en la región, las cuales han resistido durante siglos los embates de los seísmos y de las condiciones climáticas, a pesar de la falta de mantenimiento.

## REFERENCIAS

- (1) Varallanos, J. (2009). *Historia de Huánuco. Introducción para el estudio de la vida social de una región del Perú. Desde la Era Prehistórica hasta nuestros días*. Empresa Periodística Perú.
- (2) Poma de Ayala, G. (1615). *Nueva crónica y buen gobierno de Huaman Poma de Ayala*. Fondo Editorial de la Biblioteca Nacional del Perú.
- (3) Archivo Arzobispal de Lima. Capítulos (1615). *San Cristóbal de Huánuco. Causa de Capítulos seguida por el Capitán Don Juan de Rivera Torres contra el Licenciado Don Agustín de Aller. Legajo 15, expediente 5*.
- (4) Archivo Arzobispal de Lima. Visitas (1647). *Huánuco. Testimonio de costumbres del Licenciado Don Agustín de Aller. Legajo 15, expediente 23*.
- (5) Pérez Achapuri, J. (1942). *Topografías y noticias de la ciudad de León de Huánuco desde el año 1542 de su fundación hasta el de 1811*.
- (6) Archivo Arzobispal de Lima. Estadística (1827). *Huánuco. Inventario de los conventos de Santo Domingo, La Merced, San Agustín, San Juan de Dios, San Francisco. Legajo 12, expediente 10-A*.
- (7) Archivo de la Diócesis de Huánuco (1921). *Refacciones en la iglesia San Cristóbal, f.149*.
- (8) Fernández Martín, J.; San José Alonso, J. y Sánchez Rivera, J. (2013). Torres de tierra en Castilla y León. Evolución desde la torre maciza al recubrimiento cerámico. En *Construcción con tierra. Patrimonio y Vivienda. X CIATII. Congreso de arquitectura de tierra en Cuenca de Campos, Valladolid, (pp.135-146)*.
- (9) Hurtado Valdez, P. (2009). La restauración de edificios construidos con tierra en zonas sísmicas: la experiencia peruana. *Bia*, 259, 99-114. Colegio Oficial de Aparejadores y Arquitectos de Madrid.
- (10) Hurtado Valdez, P. (2011). *Bóvedas encamionadas: origen, evolución, geometría y construcción entre los siglos XVII y XVIII en el Virreinato de Perú*. Tesis doctoral. Universidad Politécnica de Madrid, Escuela Técnica Superior de Arquitectura.
- (11) Rostworowski, M. (2005). *Ensayos de Historia Andina I. Élités, etnias, recursos. Mediciones y cómputo en el Perú antiguo*. Lima: Instituto de Estudios Peruanos.
- (12) Proetzen, J. (2005). *Arquitectura y construcción Incas en Ollantaytambo*. Lima: Fondo Editorial de la Universidad Católica del Perú
- (13) Tejada, U. (2001). *Buena tierra. Apuntes para el diseño y construcción con adobe. Consideraciones sismorresistentes*. Lima: Centro de Investigación, Documentación y Asesoría Poblacional.
- (14) Torrealva, D. (2015). *Elaboración de proyectos estructurales en edificaciones del patrimonio arquitectónico*. Lima: Pontificia Universidad Católica del Perú, Facultad de Ciencias e Ingeniería.
- (15) Hurtado Valdez, P. (2015). Criterios de sismo-resistencia y cálculo tradicional de estructuras en la arquitectura limeña del siglo XVII. En *Actas del Noveno Congreso Nacional y Primer Congreso Internacional Hispanoamericano de Historia de la Construcción, Segovia, 2, pp.841-851*.
- (16) Huerta, S. (2004). *Arcos, bóvedas y cúpulas Geometría y equilibrio en el cálculo tradicional de estructuras de fábrica*. Madrid: Instituto Juan de Herrera.
- (17) Juan, J.; Ulloa, A. (1748). *Relacion historica del viage a la America Meridional hecho de orden de S. Mag para medir algunos grados de meridiano terrestre y venir por ellos en conocimiento de la verdadera figura y magnitud de la tierra, con otras observaciones astronomicas y phisicas*. Madrid: Antonio Marin.
- (18) Carpani, B. (2014). A survey of ancient geotechnical engineering techniques in subfoundation preparation. En *Proceedings of SAHC 2014. International Conferences on Structural Analysis of Historical Constructions, México City*.
- (19) Jorquera, N.; Soto, C. (2016). El subsuelo de la iglesia San Francisco: ¿Una cimentación sismorresistente sobre un estrato prehispánico? En *Arq*, 93, pp.106-117. <https://doi.org/10.4067/S0717-69962016000200013>
- (20) Llano y Zapata, J. (1755). *Respuesta dada al rey nuestro señor D. Fernando el Sexto, sobre una pregunta, que S.M. hizo á un mathematico, y experimentado en las tierras de Lima, sobre el terremoto, acaecido en el dia primero de noviembre de 1755*. Imprenta Real de la Viuda de D. Diego Lopez de Haro.
- (21) Langenbach, R. (2010). "Earthquake resistant traditional construction" is not an oxymoron\*: The resilience of timber and masonry structures in the Himalayan Region and beyond, and its relevance to heritage preservation in Bhutan. En *Proceedings of the International Conference on Disaster Management and Cultural Heritage "Living in Harmony with the Four Elements"*, pp.1-25. The Royal Government of Bhutan.

\* \* \*