
ARTÍCULO

DOSSIER

COMPLEJIDAD Y DIVERSIDAD EN LAS ARQUITECTURAS DE TIERRA EN LATINOAMÉRICA
COMPLEXITY AND DIVERSITY IN EARTHEN ARCHITECTURES IN LATIN AMERICA
PASTOR QUILES, MARÍA; MATEU, MARTA; TORRES PECEROS, HENRY EDUARDO (EDS.)

Estereotomía en las estructuras de tierra del antiguo Perú

Stereotomy in the earth structures of ancient Peru

Henry Eduardo Torres

Universitat Politècnica de Valencia, España
hetorres@arq.upv.es, <https://orcid.org/0009-0002-0805-1331>

Camilla Mileto

Universitat Politècnica de Valencia, España
camil2@cpa.upv.es, <https://orcid.org/0000-0002-0263-4248>

Fernando Vegas López-Manzanares

Universitat Politècnica de Valencia, España
fvegas@cpa.upv.es, <https://orcid.org/0000-0003-0315-6839>

Resumen: El presente estudio analiza una tradición precolombina de la costa central del antiguo Perú, que consistió en la construcción mediante la unión de bloques de tierra que tenían formas y tamaños diversos, los cuales eran instalados con un criterio de estabilidad. Esta tradición constructiva se desarrolló en la costa central del Perú hacia el primer milenio de la era cristiana en la costa, una zona de alta sismicidad. Estas estrategias constructivas formaron parte de una tradición vigente hasta el siglo XVI. Este trabajo se centra en el análisis de dichas estructuras, identificando las características que contribuyeron a su durabilidad. El método de trabajo fue el estudio de monumentos bajo técnicas de ingeniería inversa. Como resultado, se han identificado varias formas de bloques, formas de anclajes y criterios de armado de los muros, entre otras características.

Palabras clave: construcción con tierra; arqueología peruana; tradiciones constructivas; arquitectura prehispánica.

Abstract: This study analyzes a pre-Columbian tradition from the central coast of ancient Peru, characterized by the construction of structures using earthen blocks of diverse shapes and sizes, installed according to stability criteria. This construction tradition developed on the central coast of Peru during the first millennium CE in a region characterized by high seismic activity. These construction strategies persisted as part of a living tradition until the 16th century. This research focuses on analyzing these structures, by identifying the features that contributed to their durability. The methodology employed involved studying the monument using reverse engineering techniques. The study identified various block shapes, anchoring methods and wall assembly principles, among other characteristics.

Keywords: earth construction; Peruvian archaeology; building traditions; pre-Hispanic architecture.

Cómo citar: Torres, H. E., Mileto, C. y Vegas López-Manzanares, F. (2026). “Estereotomía en las estructuras de tierra del antiguo Perú”. *Arqueología de la Arquitectura*, 23: 448. DOI: <https://doi.org/10.3989/arq.arqt.2026.448>

Copyright: © 2026 Editorial CSIC y EHU Press, 2026. Este es un contenido de acceso abierto diamante distribuido bajo los términos de la licencia de uso y distribución Creative Commons Reconocimiento 4.0 Internacional (CC BY 4.0).

Información complementaria ↓

1. INTRODUCCIÓN

Varios aspectos relacionados con las actividades constructivas de las culturas preincas permanecen aún sin conocerse en profundidad. Existen más suposiciones que certezas respecto de los sistemas constructivos, las herramientas utilizadas, la planificación, etc. Por tanto, es posible que mucha información esté pasando desapercibida en las excavaciones arqueológicas, especialmente en comparación con otras áreas de investigación, como la textilería o la cerámica, que han recibido mayor atención y de cuyos procesos se tiene una abundante información.

Un ejemplo contundente de esta situación es la incorrecta denominación de las estructuras de tierra conformada,¹ que habitualmente son denominadas “tapias” de manera errónea. Este fenómeno se observa incluso en contextos académicos de mayor experiencia, donde se sigue empleando esta sinonimia. Las diferencias esenciales entre la tapia y la tierra conformada, son el estado hídrico de la tierra empleada y la compactación: tapia, estado húmedo y compactado; tierra conformada, estado plástico y sin compactación. Probablemente la confusión radica en el aspecto exterior que a menudo ha confundido a los especialistas, puesto que no se conocen en detalles las particularidades de una y otra técnica (Pastor 2017).

Las estructuras de tierra encontradas en contextos arqueológicos demandan de una metodología adecuada para catalogar e identificar las técnicas constructivas y registrarlas, durante el proceso de excavación como en las etapas posteriores de conservación.

Este es el caso de las estructuras de tierra ensambladas registradas en edificaciones arqueológicas de la costa del Perú. Estas estructuras fueron desarrolladas mediante un sistema de edificación basado en la adición de bloques de geometría diversa, que se agregaban bajo un orden específico hasta alcanzar la estructura final deseada. Las aristas visibles de estos bloques en la actualidad han permitido identificar sus formas y dimensiones, así como formular hipótesis sobre las posibles secuencias constructivas empleadas en su tiempo.

En el Perú contemporáneo, esta tradición fue conocida como *adobón*, es decir “adobe grande”, en referencia a la similitud percibida con la construcción de adobes en unidades individuales. Sin embargo, esta interpretación inicial no permitió profundizar en las características estructurales de la técnica, debido al limitado conocimiento sobre las particularidades de la construcción con tierra. Hasta la actualidad, no se habían analizado de manera exhaustiva el orden, las formas y las dimensiones de los

¹ Los bloques de tierra conformada, se componían de varias hiladas de mortero de tierra colocados horizontalmente, las alturas eran variables, y se colocaban de extremo a extremo del bloque. Cada hilada a su vez podría estar formada por varias capas de mortero, cada una de ellas media en altura unos 15 cm. Cada capa superpuesta era colocada siempre y cuando la capa que le antecedia se había secado lo suficiente. Este sistema de construcción era similar a otras técnicas de apilado del mortero de tierra. Puesto que no se usaban moldes, verificado por la muy poca compactación de la masa, las capas tuvieron baja altura (entre 10 y 20 cm) y se colocaban de extremo a extremo del elemento a construir. Esta actividad era completamente manual, probablemente solo apoyándose en un cordel para el alineamiento y en un escantillón para mantener el ancho continuo del muro. El trabajo se complementaba con un alisado de los paramentos para lo cual se debieron emplear herramientas similares a una azada que permita al operador desbastar la superficie hasta aplanarla (Torres 2021).

bloques empleados, ni se habían explorado cuestiones fundamentales sobre su origen y las razones de su utilización. Es importante precisar que esta tradición constructiva se empleó tanto con adobes como en tierra conformada. Su uso intensivo se atribuye a la civilización preinca Yschma en los valles del Rímac y Lurín, así como a los Collis en el valle del Chillón (Fig. 1). En ambos casos, se desarrolló entre el primer y segundo milenio de la era cristiana. Esta tradición constructiva se mantuvo en dichos valles hasta la época incaica en el siglo XVI. Sin embargo, los detalles específicos sobre su origen permanecen desconocidos, lo que deja abierta la posibilidad de investigaciones futuras para comprender mejor su origen y evolución.



Figura 1. Mapa de ubicación de la zona de estudio en el Perú. Elaboración propia.

Esta forma de emplear la tierra permitió la construcción de muros formados por bloques de geometría sencilla pero eficiente, diseñados para transmitir las cargas necesarias y conformar estructuras estables. El nombre nativo de esta técnica, que ha desaparecido con el tiempo, fue reemplazado por terminologías vinculadas a técnicas constructivas completamente distintas, como la tapia. Esta confusión contribuyó a la pérdida de una tradición constructiva que permaneció en uso hasta el siglo XVI.

La segmentación de las estructuras fue una práctica tradicional de mucho arraigo en la cultura andina que consistía en la construcción por tramos o segmentos cortos, evitando erigir la masa arquitectónica como un único volumen. Entre los bloques que se fabricaban es posible identificar claramente las juntas de construcción. Estos bloques presentan una variabilidad en su forma, algunos regulares como grandes columnas de adobes, y otros irregulares, a modo de prismas trapezoidales o paralelepípedos.

A pesar del paso de los siglos, los vestigios de edificaciones que utilizaron esta técnica aún pueden apreciarse en pie, lo que evidencia su resistencia frente a eventos sísmicos. Esta resistencia, comprobada después de más de cinco siglos de exposición a fenómenos naturales, motivó el desarrollo de esta investigación, orientada a explorar y comprender las características de una técnica constructiva tan ingeniosa como eficaz.

2. TERMINOLOGÍA Y PÉRDIDA DE TRADICIONES CONSTRUCTIVAS

El problema trasciende el uso inadecuado de la terminología en la historia de la construcción, una situación recurrente en la arqueología a nivel global. Esta confusión ha limitado la identificación de cuestiones de investigación relacionadas con el desarrollo de tradiciones constructivas autóctonas. Como consecuencia, la comprensión más profunda de las innovaciones técnicas de las sociedades precolombinas ha sido muy complicada.

La investigación de estas tradiciones antiguas posee una relevancia práctica indiscutible. Las estructuras precolombinas se encuentran en zonas de alta sismicidad, lo que las convierte en un laboratorio natural para observar los efectos de sismos centenarios y milenarios. El análisis de estos daños acumulados puede facilitar la recuperación de habilidades técnicas olvidadas y su probable adaptación a contextos contemporáneos.

3. ANTECEDENTES

La construcción estereotómica con tierra en el antiguo Perú podría tener sus inicios en la construcción con adobes, en tiempos de la cultura moche, al norte del Perú, que se desarrolló hacia el inicio de la era cristiana. La técnica empleada se conoce como bloques de adobe tramados (Franco, Gálvez y Vásquez 2003), denominación que puede considerarse una de las expresiones más antiguas de la construcción modular o segmentada. El bloque de adobe tramado es un bloque con forma de un prisma rectangular edificado con mampostería de adobes.² Cientos de estos bloques conformaban el edificio. Algunos edificios monumentales se construyeron siguiendo ese modelo, siendo estas, por ejemplo, Huaca Cao, Huaca del Sol, Huaca de la Luna, etc. No se descarta que tuvieran función estructural. Contemporáneamente en el valle del Rímac, se emplearon bloques de sección trapezoidal. Ejemplos de ellos pueden apreciarse en la Huaca Pucllana y el templo viejo en Pachacamac (Flores *et al.* 2012). En definitiva, estos fueron la expresión estructural anterior y directa de los bloques en tierra conformada empleados en el valle del Rímac. Las formas que se pueden encontrar en estos edificios anticipan las formas que serán comunes en los muros de tierra directamente conformada de la época Yschma la civilización que les sucedió (Figs. 2 y 3).

² El bloque de adobe tramado es un gran conjunto de adobes, colocados de manera ordenada y homogénea, nivel por nivel, configurándose en un cuerpo sólido de adobes. Los mochica, una civilización preinca, construía con bloques uno al lado del otro, continuos, creando nuevos niveles y haciendo crecer sus huacas. Así creaban rellenos de gran consistencia, con apariencia de columnas continuas (Wiese s. f.).



Figura 2. Detalle de la Huaca Tres Palos, complejo Maranga en Lima, Perú. Fuente: autores.



Figura 3. Detalle de la Huaca Mangomarka, Lima, Perú. Fuente: autores.

En el ámbito de la arquitectura monumental, esta fue una cuestión que recibió la atención de algunos investigadores. Entre los científicos más destacados, se puede nombrar a [Moseley \(1978\)](#), que denominó unidades modulares a los segmentos constructivos, o a [Reindel \(1997\)](#), quien explica que los bloques constructivos se hicieron con el objetivo de evitar problemas originados por los cambios de volumen de la estructura de tierra. La Pirámide con rampa 3 excavada en el año 1994 en el sitio arqueológico de Pachacamac es una de las pocas estructuras construidas con este sistema ubicado en el sitio

arqueológico de Pachacamac (Eckhout 1999). Esta edificación presenta muros de gran dimensión con una división en partes bastante notoria. Su investigador ha propuesto la hipótesis de consideraciones sismorresistentes para esta tradición constructiva (Eckhout 1999). Se ha justificado esta subdivisión a la flexibilidad necesaria para mantener la estabilidad estructural en una zona de alta sismicidad.

Asimismo, otros estudios propusieron que los bloques constructivos se hicieron con el objetivo de evitar problemas originados por las “variaciones volumétricas” de la estructura de tierra que, como se sabe, al contener cierto tipo de arcilla puede variar dimensionalmente, dependiendo del contenido de humedad al que esté expuesta la edificación (Reindel 1999).

Por otra parte, es notable el aporte de Ernst Middendorf, un viajero alemán de fines del siglo XIX que menciona en el tomo II de su obra *El Perú*, acerca de los restos que exploró de las antiguas construcciones en el valle del Rímac: “Los muros están hechos de barro apisonado, prensado en moldes (...) Las ruinas consisten en los llamados adobones, o sea paredes de barro, que están formadas de grandes trozos aprensados en moldes de 5 hasta 6 pies de altura, colocados unos encima de otros” (Middendorf 1973).

Otras edificaciones del valle del Rímac fueron bien descritas haciendo énfasis en el aspecto triangular de los bloques, puestos unos a continuación de otros. De esta forma, Villar Córdoba (1935) detallaba el aspecto de los macizos de forma triangular de los edificios de la Cultura Lima y que pueden observarse claramente en los sitios arqueológicos como Templo Viejo en Pachacamac, Huaca Pucllana, Huaca San Marcos entre otros. Esta disposición por la antigüedad que poseen son probables predecesores de los *bloques constructivos* de tradiciones más tardías. La contribución de Soto y Vargas (2015) en el registro de las estructuras del sitio arqueológico Mateo Salado de Lima igualmente ha sido importante, puesto que identifica las funciones estructurales de los bloques y una secuencia constructiva a partir de las formas registradas.

Santiago Agurto (1984), por otra parte, afirma lo siguiente:

Las exageradas dimensiones de las unidades de vaciado (del barro de los muros) y especialmente la inclinación de las juntas laterales de las mismas, así como la ausencia de todo vestigio que indique el uso de moldes, hacen difícil suponer que se haya usado dicho sistema (tapia) en la construcción de los recios paredones.

En otros contextos arqueológicos se pueden mencionar los trabajos de Jean-Claude Golvin, realizados en el templo de Amon-Rê en Karnak Egipto (Golvin et al. 1990), donde documenta estructuras monumentales segmentadas de tierra construidas con adobes, aunque estas son bastante más regulares en su forma y disposición y de una dimensión mucho mayor.

4. HIPÓTESIS

Sobre esta investigación se plantean las siguientes hipótesis:

- El tratamiento estereotómico de los bloques de tierra empleados en construcciones precolombinas fue una estrategia constructiva con fines de mejorar la estabilidad de las construcciones de tierra.
- Mediante la segmentación de sus estructuras, se obtenía un secado más eficiente, incluso en zonas con una humedad relativa del 95% durante la mayor parte del año.
- El uso estereotómico de la tierra podría ser una tradición en formación que surgió de dos acervos previos, la tierra conformada directamente y la construcción megalítica de los Andes.

5. ¿QUÉ ES LA ESTEREOTOMÍA?

La estereotomía es un concepto con múltiples acepciones que ha sido estudiado intensamente a lo largo de mucho tiempo. Su enfoque actual abarca desde lo constructivo-arquitectónico hasta lo artístico y ha contribuido a teorizar las formas de entender el comportamiento de los materiales. A

continuación, se recopilan conceptos que fundamentan por qué las estructuras de tierra ensambladas analizadas en esta investigación fueron desarrolladas bajo los principios de la estereotomía (Fig. 1).

En primer lugar, es importante definir el término estereotomía, proviene del griego: στερεός, (stereós) que significa sólido y τομή, (tomē) que se traduce como “corte” (Miodragovic y Kotnik 2017). Según Antonio Rovira y Rabasa (1897), la estereotomía estudia el sistema más ventajoso y económico de cortar los materiales que se emplean en la construcción. Esta disciplina ha dado lugar al desarrollo de manuales dedicados a la estereotomía de materiales como la piedra, la madera y el hierro. El mismo autor define la estereotomía como el “fraccionamiento de grandes masas afectando toda clase de formas y cumpliendo a la vez en sus sistemas de corte las condiciones geométricas y estáticas” (Rovira y Rabasa 1897).

Desarrollada durante la Edad Media, la estereotomía de la piedra representó el punto culminante de un largo proceso de evolución en la construcción con este material. En Europa, este enfoque se originó en las construcciones megalíticas, como los dólmenes célticos, caracterizados por su megamampostería. Posteriormente, alcanzó un desarrollo excepcional con los arcos romanos, donde el corte de piedras fue empleado como una estrategia para transmitir las fuerzas de compresión a la estructura, logrando edificaciones de menor peso y mayor resistencia.

Según Rovira y Rabasa, “la ciencia estereotómica” no fue aplicada en las construcciones de grandes bloques de piedra de la antigüedad, puesto que estas recurrían a un despiece mínimo y operaban principalmente bajo cargas verticales, quedando teóricamente reducidas a su “fácil y rudimentaria expresión” (Rovira y Rabasa 1897).

De otra parte, Gottfried Semper definió estereotomía como el arte de dar forma a materiales compactos para ensamblarlos en piezas regulares que formen sistemas trabados (Díez 2016).

En resumen, la estereotomía es el arte del despiece mecánico de grandes masas, con el objetivo de ensamblarlas nuevamente. El proyectista debía prever las dimensiones y formas de los bloques de modo que la estructura resultante fuera estable únicamente mediante las fuerzas ejercidas entre los bloques, las cuales no se limitan a la dirección vertical, sino que se distribuyen en múltiples direcciones.

Los conceptos expuestos describen la disciplina que rigió la estereotomía, incluyendo el diseño previo del corte que permitió construir mediante unidades individuales transportables, trabajables y ensamblables, optimizando así el trabajo de los operarios.

En relación con las estructuras analizadas en esta investigación, se puede establecer que algunas civilizaciones preincas de la costa peruana construyeron estructuras de tierra formadas por bloques previamente planificados, cuyas formas permitían una interacción directa entre ellos, favoreciendo la transmisión de cargas tanto en dirección vertical como lateral, lo que permite interpretar estas estructuras como sistemas con un conocimiento estereotómico.

6. CONTEXTO SÍSMICO: SISMICIDAD DE LA ZONA DE ESTUDIO

El registro histórico sísmico de la ciudad de Lima contabiliza 43 grandes terremotos en los últimos 400 años, de los cuales cuatro alcanzaron intensidades destructivas de IX a X en la escala de Mercalli Modificada (Morales-Soto y Zavala 2008). Esto indica que dichas magnitudes provocaron la destrucción casi total de cualquier estructura de mampostería existente. Estudios especializados han identificado evidencia de daños sísmicos en construcciones precolombinas, lo que permite observar la magnitud de los efectos de estos eventos sobre las edificaciones de la época.

Es inevitable reflexionar sobre las sensaciones que estos desastres pudieron generar en la población, sensaciones que podrían explicar por qué la principal divinidad de la costa, Pachacamac, asociada a las fuerzas de la naturaleza, adquirió un lugar de gran veneración y respeto en el mundo andino (Rostworowski 1988).

Los terremotos y la disponibilidad de materiales de construcción desempeñaron un papel crucial en la configuración de las formas arquitectónicas andinas. Las plataformas escalonadas, las formas trapezoidales, los rellenos estructurados y las estructuras mixtas con refuerzos de madera y fibras vegetales son ejemplos de estas soluciones técnicas desarrolladas en el Perú preincaico (Torres 2017).

7. METODOLOGÍA

Para abordar la problemática planteada, se empleó la ingeniería inversa como principal herramienta metodológica que permitiría deducir información de las características, componentes o proceso de elaboración, a partir del análisis de los muros arqueológicos. Este enfoque permitió reconstruir los procesos de edificación mediante el análisis detallado de las estructuras existentes, facilitando la identificación de aspectos clave como los métodos constructivos, las herramientas utilizadas, el manejo de la tierra como material de construcción, y el dominio de la geometría y la estabilidad estructural.

Los registros de campo resultaron esenciales para la obtención de información primaria, directamente desde los sitios arqueológicos. Estas visitas fueron fundamentales para la investigación, permitiendo realizar mediciones, observaciones *in situ*, capturas fotográficas de alta resolución, esquemas y dibujos.

El análisis estratigráfico de los muros se ha utilizado como una metodología clave en esta investigación. Este enfoque permite identificar con mayor precisión las formas de contacto entre los bloques y analizar la secuencia de su colocación. Estos datos son fundamentales para aproximarse a una comprensión del proceso constructivo y del aparejo estructural de los muros.

Además, el análisis estratigráfico proporciona información sobre las posibles modificaciones realizadas o reparaciones a lo largo del tiempo, lo que contribuye a una mejor interpretación histórica y técnica de las estructuras estudiadas. Este tipo de estudios es especialmente útil para reconstruir las técnicas originales de construcción y poder desarrollar estrategias adecuadas para su conservación.

Asimismo, se desarrolló una revisión bibliográfica, la cual incluyó:

- artículos científicos indexados,
- publicaciones en revistas especializadas,
- monografías y libros de referencia,
- imágenes de archivo,
- consultas en bibliotecas especializadas, y
- entrevistas a expertos en el tema.

Una fuente de particular relevancia fue la consulta de la biblioteca del Centro Internacional de la Construcción en Tierra (CRATerre), que pertenece a la Escuela Superior de Arquitectura de Grenoble, en Francia.

Además, se llevaron a cabo estudios estructurales preliminares con el propósito de analizar el comportamiento mecánico de los bloques de tierra desde un enfoque tanto cuantitativo como cualitativo. Estos estudios, que incluyeron pruebas de estabilidad y resistencia, estuvieron orientados a comprender el desempeño de las estructuras bajo condiciones sísmicas. Actualmente, estas investigaciones se encuentran todavía en curso, con el objetivo final de diseñar y construir prototipos basados en los principios arquitectónicos identificados en estas estructuras históricas.

Este enfoque multidisciplinario busca proporcionar una base científica para reinterpretar y aplicar las técnicas constructivas del pasado en el desarrollo de soluciones contemporáneas para edificaciones en zonas de alta sismicidad.

8. RESULTADOS: PROCESO CONSTRUCTIVO DE LOS BLOQUES

Los resultados del registro han permitido catalogar los bloques de acuerdo a su geometría (Fig. 4), se apreciaron formas diversas que se repiten en los muros, por lo cual los autores sostienen que se tratarían de sistemas con que habrían procurado un cierto nivel de regularidad morfológica. En segundo lugar, se muestran los registros de los tipos de ensamblaje que presentan los bloques, ya sea en contacto con el terreno o para el contacto bloque-bloque.

8.1. Geometría de los bloques

	Trapezoidal 
	Rectangular 
	Paralelepípedos 
	Trapezoidal-rectangular 
	Confinante 
	Escalonado 

Figura 4. Geometría de los bloques. Elaboración propia.

Entre los bloques poliédricos de tierra se identificaron seis formas que se repiten en los sitios visitados. Se ha añadido un subtítulo dedicado a los artificios que se han encontrado en zonas puntuales de las estructuras visitadas.

Al ser fabricados manualmente, estos bloques no son exactamente iguales. No obstante, mantienen una geometría similar. Téngase en consideración el orden y el criterio de aparejo de los muros para poder comprender mejor el comportamiento de estas estructuras, que se analizará más adelante.

8.1.1. Forma 1: Trapezoide

Los trapezoides son las formas más comunes que se encuentran, los lados tienen inclinaciones diversas, predominando una inclinación de entre 5 y 10 grados. Pueden haber sido contruidos monolíticamente, es decir en un solo evento constructivo o como resultado de pequeños eventos que finalmente conformaban el volumen final. Estos bloques pueden tener dos caras paralelas o todas inclinadas.

Los trapezoides de base ancha son generalmente los bloques que, según la propuesta de los autores, son contruidos en primer lugar, se les ha asignado el nombre de *bloque ordenador*, atribuyéndole la condición de bloque que se construye para proponer tanto el alineamiento del muro, la dimensión final y el tipo de aparejo que tendrá toda la estructura a construir.

8.1.2. Forma 2: De sección trapezoidal rectangular

Los bloques de este tipo se asientan sobre dos o más bloques para trabarlos conectándolos. Este bloque sirve de conector para continuar con el aparejo del muro. En cuanto a su dimensión se le ha encontrado de largos variables, trabando bloques aparejados previamente mediante fuerzas de fricción y su peso propio.

8.1.3. Forma 3: Paralelepípedo

Los bloques paralelepípedos son elementos que se adosan generalmente a otros bloques y particularmente a los bloques trapezoidales para ir conformando el conjunto del muro final. En forma semejante a los trapezoides, los ángulos de inclinación de sus lados laterales están entre 5 y 10 grados. Se contrúan en el interior de la estructura, es decir, normalmente no se disponían en el borde sino confinando el interior del muro, apoyándose en fases previas para darles estabilidad con la aplicación de su propio peso.

8.1.4. Forma 4: Trapezoidal rectangular de esquina

Estos bloques se encuentran generalmente en los extremos de los muros, habitualmente en el cambio de orientación de las estructuras. Tiene una base ancha y un extremo superior angosto, el lado interior en contacto con los bloques subsiguientes es inclinado y el lado que forma la esquina o borde es vertical o tiende a serlo. Por su forma le otorgan estabilidad a la estructura confinando la esquina y su aspecto recuerda a los muros masivos de gravedad que actualmente se construyen en hormigón ciclópeo.

Existe una variante que, se construye en forma invertida, se le ha encontrado en los extremos de muros. Esta forma merece especial atención por su aparente eficacia, debido a la permanencia que se la ha detectado hasta la actualidad.

8.1.5. Forma 5: Bloque cuña

Es un bloque de base menor que su extremo inferior y que se construye como elemento de estabilización del conjunto estructural puesto que su peso se apoya, parcialmente, en los bloques contiguos. Debido a su forma y orden de fabricación es el bloque que ejerce la presión de contacto que estabilizaría todo el conjunto estructural.

8.1.6. Forma 6: Escalonado

El bloque escalonado es un bloque que presenta un desnivel en su parte superior que permite unirse hasta cuatro bloques en sus dos direcciones. Considerando que un bloque usualmente conecta con dos o tres bloques, los escalonados pueden hacer contacto con cuatro debido a la diferencia de nivel que presenta. Estos son usados en declives justamente para poder enlazar varios bloques y añadir estabilidad al conjunto.

8.1.7. Artificios

Se han identificado bloques con formas particulares y un diseño que se podría definir como sofisticado. Estas formas permiten apreciar el alto nivel de exigencia técnica alcanzado en su fabricación. Estos bloques no solo contribuyen a consolidar el sistema estructural interdependiente, sino que también incorporan detalles constructivos cuidadosamente elaborados (Fig. 5).

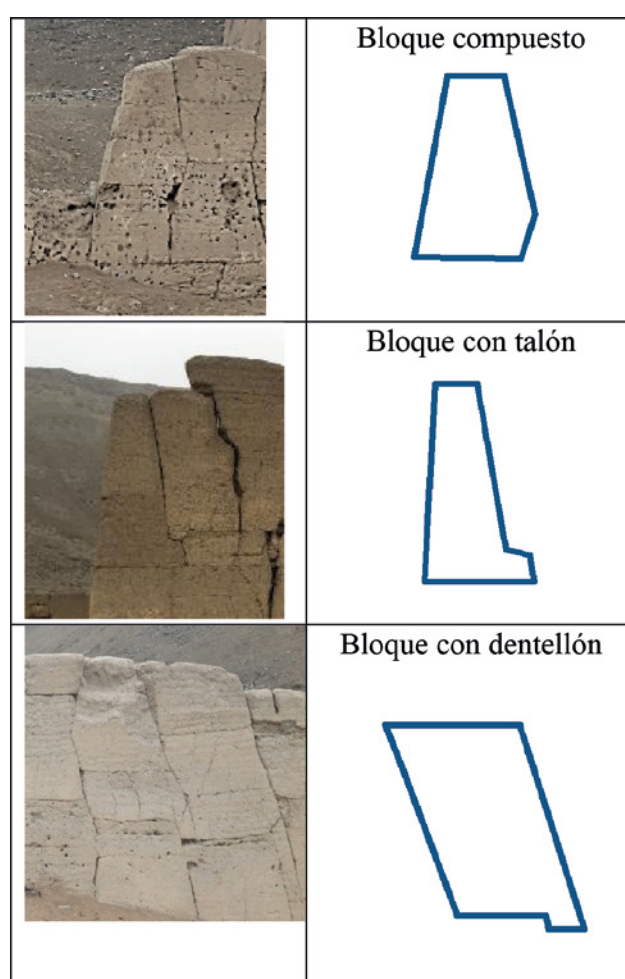


Figura 5. Artificios en los bloques. Elaboración propia.

8.1.7.1. Compuesto

Los bloques compuestos son bloques que están formados por la unión de dos formas poliédricas. Son bloques que reciben fuerzas de compresión y, a su vez, transmiten la carga de su peso a otros bloques, como parte de un sistema estructural interdependiente dentro de las estructuras ensambladas, donde los elementos trabajan colectivamente para distribuir y equilibrar las fuerzas. Este bloque brinda por tanto estabilidad al conjunto.

8.1.7.2. Con talón

El bloque con talón que se documentó es un bloque cuya base se proyecta hacia el lado interior del muro de tal forma que con el apoyo del bloque contiguo aumenta su estabilidad global incrementando su resistencia al vuelco al contrarrestar las fuerzas de empuje mediante este artificio. De manera similar a un muro de contención moderno, un talón en un bloque podría distribuir mejor las cargas verticales al aumentar el área de contacto con el bloque inferior del muro, mejorando su estabilidad.

8.1.7.3. Con dentellón

El dentellón se ha denominado así a un borde o saliente ubicado en la base del bloque de tierra de forma de paralelepípedo. Es un anclaje que sale desde la parte inferior y se proyecta al bloque inferior. Su función estimada es prevenir deslizamientos entre bloques puesto que se ubica generalmente en zonas en declive. El dentellón mejora el agarre del muro con el bloque inferior, asegurando que los bloques permanezcan unidos. Esta hipótesis deberá ser verificada en trabajos posteriores.

8.2. Formas de ensamblaje

La geometría de los bloques que se ha analizado responde a la forma como se ensamblaron, y este ensamblaje, a su vez responde a las características de la topografía y de la forma de la edificación.

8.2.1. Ensamblado según la superficie

8.2.1.1. Aparejo sobre terreno plano

En terrenos planos las estructuras eran conformadas por una sucesión de bloques cuya base inicial, por lo general, eran los bloques trapezoides “ordenadores”. Estos bloques iniciales permitían acto seguido el adosamiento de nuevos bloques, de formas diversas, entre los cuales, los bloques compuestos definidos en el presente trabajo (Fig. 6).

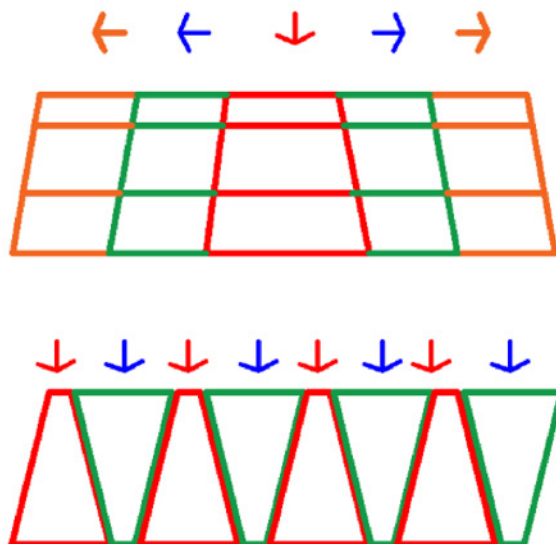


Figura 6. Esquema de desarrollo del muro en superficies horizontales empleando el ensamble de bloques de tierra conformada. Elaboración propia.

En las superficies planas, hay una sucesión de formas cuyos bloques van repartiendo la carga de sus pesos hacia los bloques contiguos que se adosan unos a otros, con formas de trapezoides y cuadriláteros irregulares. Los autores han denominado a esta secuencia megamampostería por el uso de estos grandes bloques.

En este proceso constructivo se pueden identificar dos formas principales de ordenar los bloques. La primera puede denominarse “radial”, puesto que parte de un bloque inicial, generalmente trapezoidal, desde el cual los bloques contiguos se adosan progresivamente hacia ambos lados. La forma trapezoidal del bloque central facilita el acomodo simultáneo de los bloques hacia sus flancos, optimizando así la estabilidad estructural.

La segunda forma puede denominarse “de colocación múltiple”. Este método permitía construir los bloques trapezoidales de forma simultánea desde el inicio, lo que a su vez facilitaba la colocación simultánea de los bloques de ajuste. Esta técnica permitía avanzar en varias secciones de la estructura al mismo tiempo, optimizando los tiempos de construcción y garantizando la eficiencia del proceso.

En ambos casos, estas estrategias constructivas reflejan un enfoque sistemático y eficiente que permitía trabajar en múltiples tramos de la estructura de manera simultánea, asegurando tanto la estabilidad como la rapidez en la ejecución.

8.2.1.2. Aparejo sobre terreno inclinado

Cuando se construía en un terreno con una pendiente, la solución adoptada era la de construir muros cuyos bloques se adosaban entre sí en planos inclinados semi-paralelos. Los bloques se construyeron inclinados unos a otros, descargando un porcentaje de su peso en el bloque adyacente. Esta ligera inclinación es suficiente para que el apoyo entre bloques sea constante formando una sola masa estructural cuyos elementos aplican esfuerzos de compresión entre sí, lo que les garantizaba estabilidad. En estas superficies en declive, se emplearon los bloques con dentellón, que permitía conectar un bloque con 3 bloques contiguos, asegurando un mayor rozamiento y por tanto mejorando la estabilidad (Fig. 7).

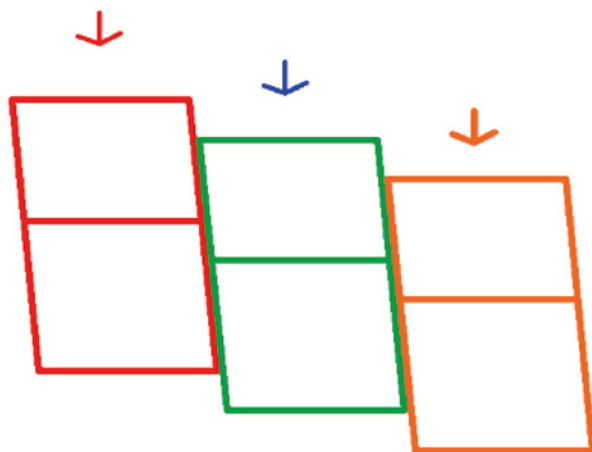


Figura 7. Esquema de desarrollo del muro en superficies inclinadas empleando el ensamble de bloques de tierra conformada. Elaboración propia.

8.2.2. Forma de contacto entre bloques

El contacto entre bloques se dio a través de varios tipos de anclajes que fueron alternativas de solución a la demanda de mejor conexión entre bloques adyacentes. La plasticidad del mortero de tierra utilizado durante la construcción permitió el modelado de estos anclajes. Cada uno de ellos actuó como mecanismo de conexión y de transmisión de fuerzas dentro del sistema constructivo. Cada tipo debería influir en la forma en que las fuerzas son transmitidas y distribuidas dentro de la estructura. Esto se debe comprobar con estudios estructurales de mayor profundidad y detalle (Fig. 8).

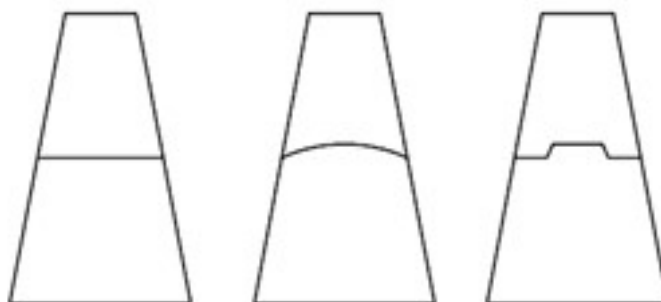


Figura 8. Dibujo con los tres tipos de anclajes registrados. Elaboración propia.

8.2.2.1. Anclaje plano

El **anclaje plano** es el más simple en términos de geometría. Se trata de una superficie horizontal donde los bloques se conectan directamente, formando una forma plana. Los anclajes planos debieron formarse durante el proceso constructivo y cuidarse de mantenerse plano antes de añadir los bloques superiores. En este tipo de anclaje la carga aplicada se debería transferir de manera directa y perpendicular al plano de bloque a bloque. Sin embargo, se podría generar una distribución menos eficiente de las fuerzas sísmicas, concentrando las tensiones en puntos específicos debido a las imperfecciones e irregularidades que se podrían haber dado en las superficies de mortero seco.

8.2.2.2. Anclaje curvo

El **anclaje curvo** entre los bloques superiores e inferiores tiene una geometría que facilita una distribución más uniforme de las fuerzas. Este tipo de anclaje tiene superficies semi-redondeadas o curvas que permiten una mejor adaptación a las tensiones variables, como las producidas por movimientos sísmicos. Se forma de manera natural debido a la naturaleza del mortero en estado húmedo-plástico empleado durante la construcción de los muros.

8.2.2.3. Anclaje facetado

El **anclaje facetado** se caracteriza por una superficie compuesta por múltiples facetas o planos pequeños, que crean un diseño no completamente plano ni curvo, pero con varias inclinaciones. Estos anclajes debieron hacerse de forma voluntaria como una alternativa de conectar los bloques inferiores y superiores, tal como se ha registrado en varios muros arqueológicos.

9. ANÁLISIS

Como resultado del registro realizado en los sitios arqueológicos, se plantea el siguiente análisis. A partir de las evidencias arqueológicas, se propone una serie de hipótesis basadas en condiciones reales sobre el origen y la generación de los bloques que conformaron las construcciones estereotómicas. Se analizan las formas individuales de los bloques y su desarrollo, considerando el entorno en el cual fueron emplazados. Todas estas consideraciones permitirán explicar, con base en estas variables, la preferencia por la geometría sobre la materia en la arquitectura tardía de los Andes centrales durante los periodos precolombinos.

9.1. Análisis de las formas

En el capítulo precedente se han identificado formas recurrentes en forma de bloques poliédricos de tierra conformada que sirvieron para generar recintos cuadrangulares. En segundo lugar, se registró la secuencia de construcción de los muros, tanto sobre superficies planas (llanuras), como sobre pendientes (faldas de cerros). En ambos casos, existen diferencias en el aparejo del conjunto, tanto en

el orden, como en las formas utilizadas.

Por otra parte, se señalan las formas de anclaje entre bloques, la geometría entre las caras en contacto, tanto las juntas horizontales como las verticales que, según la hipótesis de los autores, el perfil de las caras de los poliedros puede tener influencia en el comportamiento estructural del conjunto.

Para analizar el desarrollo de los bloques, se proponen hipótesis que expliquen cómo se pudo haber desarrollado esta manera de construir. Para ello es necesario encontrar coincidencias entre aspectos relacionados con los siguientes ámbitos de análisis:

- Geometría.
- Materiales.
- Medioambiente.
- Ergonomía.

9.1.1. Generación de los bloques: Hipótesis a partir de la geometría

Se planteó una secuencia evolutiva en el diseño y partición de muros monolíticos construidos con tierra conformada a partir del establecimiento de una eventual generación de formas. Esta generación tendría como punto de partida un bloque inicial continuo, sin despiece, idealmente monolítico, que posteriormente pasaría por diferentes transformaciones geométricas para responder a necesidades estructurales, constructivas y funcionales.

La técnica estereotómica se refleja en el manejo del volumen y en la subdivisión del bloque inicial para optimizar la estabilidad y adaptabilidad de la estructura a las necesidades de los constructores, tal como se ha detallado anteriormente (Fig. 9).

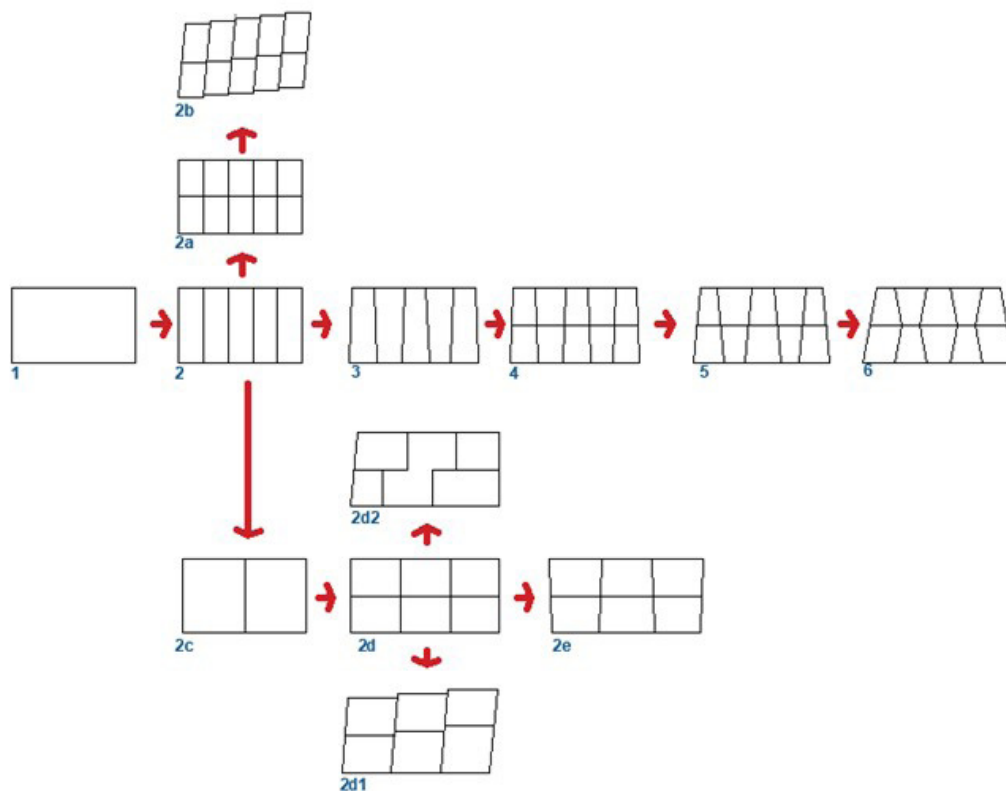


Figura 9. Esquema de hipótesis de la generación de los bloques. Elaboración propia.

A continuación, se desarrolla en forma escrita la generación sucesiva e hipotética de los bloques.

9.1.1.1. Forma inicial (1)

Representa el bloque monolítico de tierra, tal como se conformaba en construcciones más antiguas. Se trata de una forma ideal. En efecto, en sitios arqueológicos fechados hacia el año mil de la era cristiana, se construían edificaciones de muros continuos o en su defecto con pocas segmentaciones (Fig. 10).



Figura 10. Muro sin segmentaciones ubicado en la Huaca Palacio de Oquendo, en Lima, Perú. Elaboración propia.

Este rectángulo inicial representa el punto de partida, donde no existen particiones internas o, de existir, se remiten solo a cambios de dirección, se concibe como un volumen continuo, primario, sin segmentaciones.

9.1.1.2. Primera partición vertical (2)

La construcción del elemento estructural en segmentos verticales introduce el concepto de modularidad en el bloque inicial. Esta forma vertical de partición remite a los bloques de adobes tramados de la cultura moche (costa norte del Perú), que fueron intensivamente empleados en las estructuras masivas.

En términos constructivos, esta subdivisión permite:

- controlar la dimensión del muro para adaptarse a los requerimientos del emplazamiento,
- facilitar el proceso de conformación directa en el sitio,
- posibilitar el secado independiente de cada bloque, y
- permitir una construcción simultánea desde varios frentes de trabajo.

Un factor negativo es que entre los bloques no existe un contacto que permita la transmisión de pesos y esfuerzos, lo que podría causar inestabilidad (Fig. 11).



Figura 11. Muro con segmentaciones verticales, ubicado en la Huaca Palacio de Oquendo, en Lima, Perú.
Elaboración propia.

9.1.1.3. Ajustes estructurales (2a y 2b)

9.1.1.3.1. 2a

Los segmentos verticales son alterados con líneas horizontales, reflejando:

- Modelos constructivos: los bloques se generan a partir de las posibilidades constructivas de los ejecutantes, es decir, tienen la dimensión máxima posible que los constructores pueden darle en altura.
- Al ejecutarse en dos niveles se favorece el secado, los bloques más pequeños pueden secar más rápido y/o aminorar el agrietamiento durante el proceso de pérdida de humedad.

Aún no existe un contacto que permita la transmisión de pesos y esfuerzos laterales, solo en sentido vertical ejercido por el peso de los bloques, por lo que tiene una estabilidad limitada.

9.1.1.3.2. 2b

Los módulos se tornan paralelepípedos inclinados, representando:

- Muros adaptados a pendientes o inclinaciones: se optimiza la relación entre estabilidad y la topografía del terreno.
- Control de la rigidez: Las inclinaciones contribuirían a la resistencia a cargas laterales con una mejor estabilidad del conjunto. Estos muros se observan en construcciones más tardías, hacia el siglo XVI.

9.1.1.4. Partición horizontal (2c)

El bloque monolítico se divide ahora en capas horizontales de gran formato, característico en construcciones con tierra monumentales.

En esta etapa, se aporta:

- El proceso constructivo por niveles: cada capa de tierra se puede conformar por separado, optimizando el proceso constructivo.

- Los bloques deben su estabilidad al peso que se ejerce verticalmente, mientras que las fuerzas laterales tienen poca significancia debido a un mínimo contacto.

9.1.1.5. Evolución hacia particiones complejas (2d, 2e, 2d1, 2d2)

9.1.1.5.1. 2d y 2e

Se combinan líneas horizontales y verticales, lo que sugiere un diseño más elaborado. Estas particiones:

- Facilitan la incorporación de una característica constructiva específica (2e), como bloques interdependientes.
- Permiten diseñar muros adaptativos, con variaciones en la topografía y en la forma del edificio.
- Modelos constructivos: los bloques se generan a partir de las posibilidades constructivas de los ejecutantes, es decir, están formados por bloques que se adaptan mejor a la altura de los constructores y están formados por eventos constructivos más pequeños y manejables. Tienen la dimensión máxima posible que los constructores pueden darle de acuerdo a su ergonomía. Esto se analiza en el ítem respectivo.

9.1.1.5.2. 2d1

Optimización geométrica: en forma similar al gráfico 2b.

9.1.1.5.3. 2d2

Se combinan y crean nuevas formas de bloques que permitan adaptarse a las irregularidades del terreno y lograr un mayor contacto entre bloques.

Aparecen bloques escalonados, y de formas diversas que permiten un mejor contacto entre bloques y una mejor estabilidad.

9.1.1.6. Análisis de los bloques 3, 4, 5 y 6

Los bloques 3, 4, 5 y 6 presentan una evolución geométrica progresiva que introduce cortes diagonales o líneas de separación inclinadas en lugar de las particiones iniciales verticales del bloque 2. Este nuevo diseño habría estado pensado para optimizar la construcción añadiendo dos etapas horizontales de construcción, permitiendo una mayor adaptabilidad a las condiciones de terreno y carga.

9.1.1.6.1. Bloque 3: Introducción de líneas de fractura controladas

Descripción: las divisiones regulares del bloque 2 se modifican para incluir líneas diagonales, con entre 10 y 15 grados de inclinación, que podrían interpretarse como líneas de fractura controladas. Finalmente, lo que se logra es que los bloques puedan tener un mayor contacto y estabilidad entre ellos.

Permiten que, en caso de deformación del terreno o movimientos, el muro responda de forma más flexible, minimizando el riesgo de grietas descontroladas o imprevistas. Se plantea que las líneas diagonales facilitarían que, en caso de un sismo, las deformaciones no comprometan todo el muro, sino que se concentren en estas líneas.

9.1.1.6.2. Bloque 4: Mayor complejidad en las líneas de corte

Descripción: las líneas diagonales del bloque 3 evolucionan añadiendo dos etapas horizontales de construcción, permitiendo una mayor adaptabilidad a las condiciones de terreno y de carga, considerar la ergonomía de los ejecutantes, además de favorecer la rapidez del secado.

El propósito estructural consistiría en imitar el comportamiento de materiales pétreos o naturales, donde las líneas de fractura favorecen el trabajo colaborativo entre los bloques. Generaría una estructura más resistente a los esfuerzos, puesto que las formas trapezoidales aumentan la fricción y el contacto entre los bloques.

Este diseño permite que los bloques se conecten mejor, creando una mayor resistencia frente a los deslizamientos del muro debido a la contribución del peso de los bloques.

9.1.1.6.3. Bloque 5: Configuración trapezoidal compleja

Descripción: las divisiones internas del bloque ahora adquieren una forma trapezoidal, con un aumento notorio de la base de los bloques, que refuerza la interdependencia entre las secciones del muro.

Propósito estructural: los bloques trapezoidales trabajan como cuñas, distribuyendo las cargas hacia las bases más anchas y favoreciendo la estabilidad general del muro. Este diseño también mejoraría la resistencia del muro frente a vibraciones y fuerzas laterales.

El sistema constructivo de conformación directa en sitio, habría asegurado que las uniones diagonales distribuyan las cargas y tensiones. Este diseño es útil en contextos donde el terreno no es uniforme, puesto que las formas trapezoidales pueden ajustarse a pequeñas irregularidades o asentamientos.

9.1.1.6.4. Bloque 6: Optimización del sistema trapezoidal

Descripción: se continúa la lógica del bloque 5, pero con una geometría trapezoidal más optimizada, con cortes que reflejan un sistema más refinado y eficiente al contar con bloques trapezoidales invertidos.

Propósito estructural: maximiza la estabilidad al incorporar múltiples puntos de apoyo y transferencia de carga entre las secciones del muro. Reforzaría la resistencia frente a cargas dinámicas.

Aplicación: este diseño estructural se adapta especialmente bien para muros con mayores demandas estructurales. La forma trapezoidal final presenta un aspecto que remite a formas naturales o tradicionales de la construcción con piedra. Estas formas no se apreciaban desde el exterior puesto que los muros presentaban enlucidos (Torres 2021).

Finalmente se puede afirmar que los bloques 3, 4, 5 y 6 representan una evolución dentro del diseño estereotómico para muros de tierra conformada directamente. Estos bloques logran un balance entre funcionamiento estructural, la adaptación a las condiciones topográficas y a una búsqueda en la eficiencia en la construcción. Cada etapa de este desarrollo introduce un nivel adicional de complejidad, que en contraparte va optimizando la interdependencia y estabilidad del sistema, mientras se adapta a las características del terreno, los sismos y la distribución del trabajo.

A través de esta propuesta de generación de las formas de los bloques, se advierte que se habría priorizado en forma conjunta la estabilidad de la estructura, la eficiencia en el uso de la tierra como material de construcción. Se ha presentado una propuesta en un esfuerzo de explicar una evolución del diseño de muros de tierra desde una forma básica monolítica hacia particiones más complejas que combinaron las necesidades de uso, la estabilidad y la tecnología de la materia tierra. Estas transformaciones no solo respetan los principios de la estereotomía, sino que también habrían optimizado el comportamiento estructural de los muros en zonas de alta actividad sísmica como la costa central del Perú.

9.1.2. Generación de los bloques: Hipótesis a partir de la materia

Ya sea en forma de adobes o de tierra conformada, en cualquier caso, la tierra es una materia mecánicamente frágil, incapaz de soportar deformaciones sin agrietarse. Por lo tanto, las vibraciones sísmicas, los asentamientos o sus características intrínsecas pueden llegar a agrietar la tierra, una vez seca, y hacerle perder su condición de monolitismo, lo que comprometería su estabilidad si esta dependiera de la continuidad estructural.

Según la hipótesis planteada y estrictamente desde el punto de vista del material, el diseño inicial de muros continuos evolucionó hacia un sistema de ensamblaje de bloques con el propósito de controlar y mitigar los agrietamientos.

Este planteamiento se fundamenta en registros de estructuras de tierra con pocas segmentaciones que presentan agrietamientos generalizados. La severidad de los agrietamientos observados constituye, para esta investigación, una prueba contundente de que la falta de segmentaciones contribuyó significativamente a la formación de fisuras y, posteriormente, a la inestabilidad estructural, que se agravaba con los sismos, aunque podía manifestarse incluso durante el proceso de secado de la estructura. Este fenómeno de agrietamiento por secado podría haberse originado por factores como la granulometría de la mezcla o el exceso de agua.

Entonces se puede señalar que el tratamiento del material desempeñó un papel crucial en la decisión técnica de segmentar las estructuras como estrategia para garantizar una mayor estabilidad y resistencia.

9.1.3. Generación de los bloques: Hipótesis a partir de la ergonomía

La construcción segmentada con tierra puede analizarse también desde la perspectiva de la ergonomía, como un enfoque adaptado a las capacidades físicas y las limitaciones humanas en los procesos constructivos. La segmentación, entendida como la división de estructuras en bloques y a su vez en eventos constructivos más acotados, podría deberse también a principios ergonómicos, de reducción del esfuerzo físico y la optimización del trabajo humano para mejorar el uso de los recursos disponibles.

La segmentación de estructuras habría permitido un enfoque modular que facilitó el trabajo colaborativo, muy arraigado en la cultura local andina. Cada tramo o bloque podría haberse construido de manera independiente y probablemente simultánea, tal como lo demostrará el análisis estratigráfico, permitiendo que equipos de trabajo reducidos participen del proceso.

En resumen, la ergonomía habría desempeñado un papel clave en el proceso de construcción. Las dimensiones de las obras arquitectónicas y sus etapas son, sin duda, producto de la influencia del medio donde se emplazan; sin embargo, también es importante considerar que las proporciones fueron determinadas por las dimensiones de los materiales que las personas fueron capaces de trasladar (Rahm 2020).

9.1.4. Generación de los bloques: Hipótesis a partir de las condiciones medioambientales

Por otra parte, es necesario señalar que un inconveniente de la construcción con tierra conformada es el factor de tiempo de secado del muro. Considérese que, en el litoral peruano y especialmente en la ciudad de Lima, se registran humedades relativas que pueden alcanzar registros de hasta 100%. Esta investigación propone que, debido a la alta humedad de la costa peruana, se obligaba a emplear bloques pequeños en lugar de grandes tramos, los cuales demorarían semanas o meses en secar. La construcción en partes permitiría secados más rápidos sin afectar en gran medida el tiempo total del proyecto, puesto que, por la modularidad, se podrían haber trabajado en varias zonas en paralelo, tal como se sustentó en los temas relacionados a la ergonomía, con una planificación adecuada de la ubicación final de los bloques.³

Esta hipótesis tiene sustento en el análisis estratigráfico realizado a muros donde se evidencia que existe los bloques fueron a su vez construidos mediante eventos pequeños, es decir de poco volumen, de ahí la necesidad de planificación. En varios ejemplos se ha detectado que se conformaba con numerosos y muy cortos eventos constructivos. Esto habría permitido ir construyendo varios bloques en simultáneo, estimulando el progreso en la construcción.

³ El uso de la estrategia de utilizar bloques para aumentar la velocidad de secado en las mezclas también puede apreciarse en lo ejecutado durante la construcción de la presa Hoover, donde se emplearon bloques encastrados para poder colocar los más de 3 millones de metros cúbicos de hormigón que requirió la obra (David 2010).

9.2. Análisis del ensamble de los bloques. Análisis estratigráfico

Se puede afirmar que esta construcción modular permitió adaptarse a diversas formas de la topografía, puesto que se ha podido constatar que varios edificios aprovecharon afloramientos rocosos y la conformación en segmentos permitió una mejor adaptación a las irregularidades del terreno.

De la misma forma pudo tener un carácter sismorresistente, al proveer de cierta flexibilidad a un muro de naturaleza frágil, es decir con poca tolerancia a las deformaciones. Esta división de la estructura, en parte, habría permitido un cierto nivel de desplazamiento de sus partes evitando colapsos y costosas reparaciones. Aunque no está del todo comprobado, esta suposición se sustenta en ensayos elementales de resistencia que han permitido identificar que los muros ensamblados pueden tolerar sismos ocasionales (0,22 g) y frecuentes (0,27 g)⁴, aunque estas investigaciones son todavía muy iniciales.

Una forma de comprender la evolución de la fábrica construida consiste en elaborar un análisis estratigráfico del muro. En el caso de los muros del presente estudio, permite conocer el proceso de trabajo de los constructores. Analizando algunos muros empleando herramientas de estratigrafía arqueológica se puede determinar que la construcción de estas estructuras era planificada y dirigida con ciertos criterios que seguramente para los constructores era garantía de estabilidad. Es el camino para entender la metodología constructiva y, al mismo tiempo, puede ser útil para su rehabilitación.

9.2.1. Caso 1

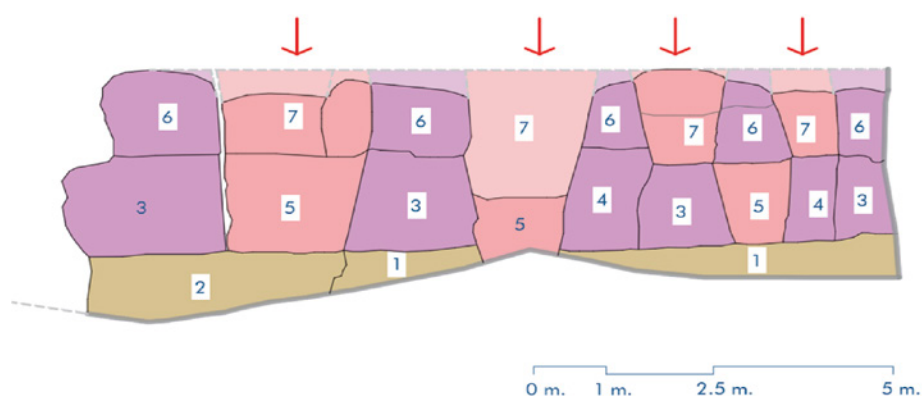


Figura 12. Análisis estratigráfico de las fases constructivas del muro arqueológico, se muestran los 3 grandes momentos constructivos. Las flechas señalan la ubicación de los muros que actúan como claves.

Fuente: Torres (2021).

⁴ *Murs de terre assemblés. Expérience pseudo-statique et étude numérique sur des modèles réduits.* Grenoble, manuscrito inédito

En la **Figura 12** se presenta el análisis estratigráfico realizado a un muro perimetral de aproximadamente 70 cm de ancho. En esta figura, los eventos constructivos 1 y 2 corresponden a la nivelación de la superficie rocosa. Estas fases consisten en una capa horizontal en forma de plataforma construida directamente sobre el terreno. Las fases 3 y 4 forman bloques ordenadores, es decir, segmentos con lados inclinados y forma trapezoidal. El evento 5 actúa como elemento de ajuste y se apoya en los eventos previos (fases 3 y 4), siguiendo el contorno definido por estos segmentos del muro.

El evento o fase 6 completa la altura de las fases 3 y 4, manteniendo la forma trapezoidal de los bloques sobre los cuales es construido. No obstante, uno de los bloques construidos en esta fase (ver recuadro en **Fig. 12**), no sigue el alineamiento del bloque inferior, sino que lo modifica, invirtiendo con ello el comportamiento del bloque. La fase 7 completa la altura final del muro, apoyándose en todos los casos sobre la fase 6. Estos elementos actúan como piezas de ajuste o “claves” que contribuyen a la estabilidad general de la estructura, repartiendo su peso en los bloques adyacentes asegurando fuerzas de compresión en todos los bloques.

9.2.2. Caso 2

Por otro lado, en la **Figura 13** se ilustran secciones de la gran muralla de Chuquitanta, en Lima. Se aprecia la construcción de bloques trapezoidales, representados como fase 1 en la **Figura 7**. En este caso, las partes que conforman el muro se añaden verticalmente y podrían haberse construido de manera simultánea.

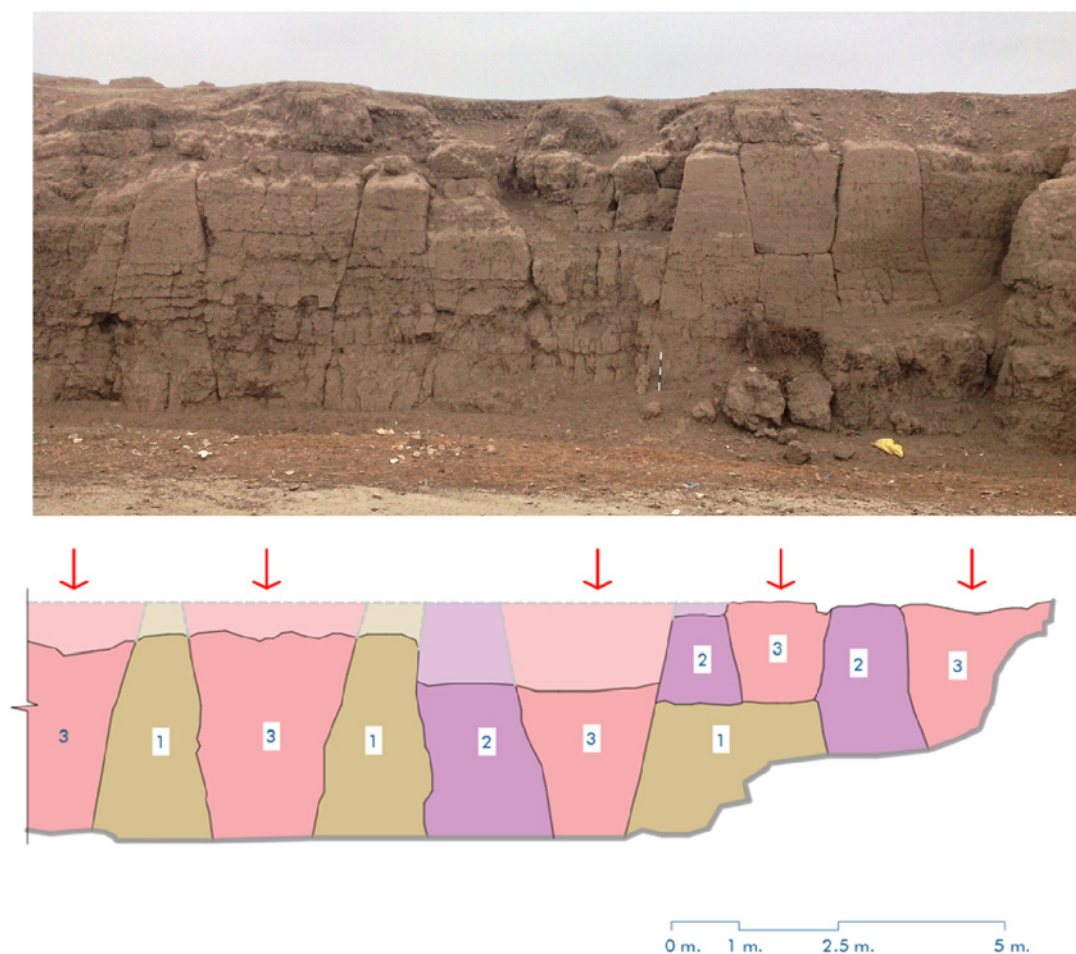


Figura 13. Análisis estratigráfico de las fases constructivas de una parte de la muralla de Chuquitanta. Las flechas señalan la ubicación de los muros que actúan como claves. Elaboración propia.

9.2.3. Caso 3

En otros casos, el ordenamiento del muro se realiza de forma horizontal; es decir, los bloques se colocan secuencialmente a partir de un gran bloque ordenador, añadiendo uno tras otro (Fig. 14). Obsérvese que los bloques a veces están conformados a su vez por eventos constructivos más pequeños, sin cambiar la forma final que se quería lograr. Esto se comprobará con más detalle aún en un caso posterior.



Figura 14. Análisis estratigráfico de las fases constructivas de un segmento de la muralla de Chuquitanta, se muestra la secuencia de cinco momentos constructivos. Los muros se van adosando unos a otros a partir del muro ordenador. Fuente: Torres (2021).

9.2.4. Caso 4

Los muros que se levantan sobre terrenos en declive, como el mostrado en la Figura 15, requieren de una organización más compleja debido a la necesidad de equilibrar los pesos en la pendiente. Los bloques se organizan a través de un primer bloque trapezoidal. Esto garantiza que puedan ajustarse adecuadamente al realizar la transición hacia un terreno plano. Las primeras fases constructivas (1, 2, 3 y 4) se ejecutan de manera secuencial, finalizando en una estructura escalonada. Posteriormente, se construyen bloques trapezoidales que se adosan al primer gran bloque ordenador. Estos bloques trapezoidales se colocan ordenadamente, apoyándose en los bloques de las primeras fases y en el bloque ordenador, lo que genera una serie de juntas inclinadas. Llama la atención la forma de la base de los bloques que, con una especie de talón, logra apoyarse en 3 bloques, añadiendo aún más estabilidad al conjunto, trabando la mayor cantidad de bloques posibles.

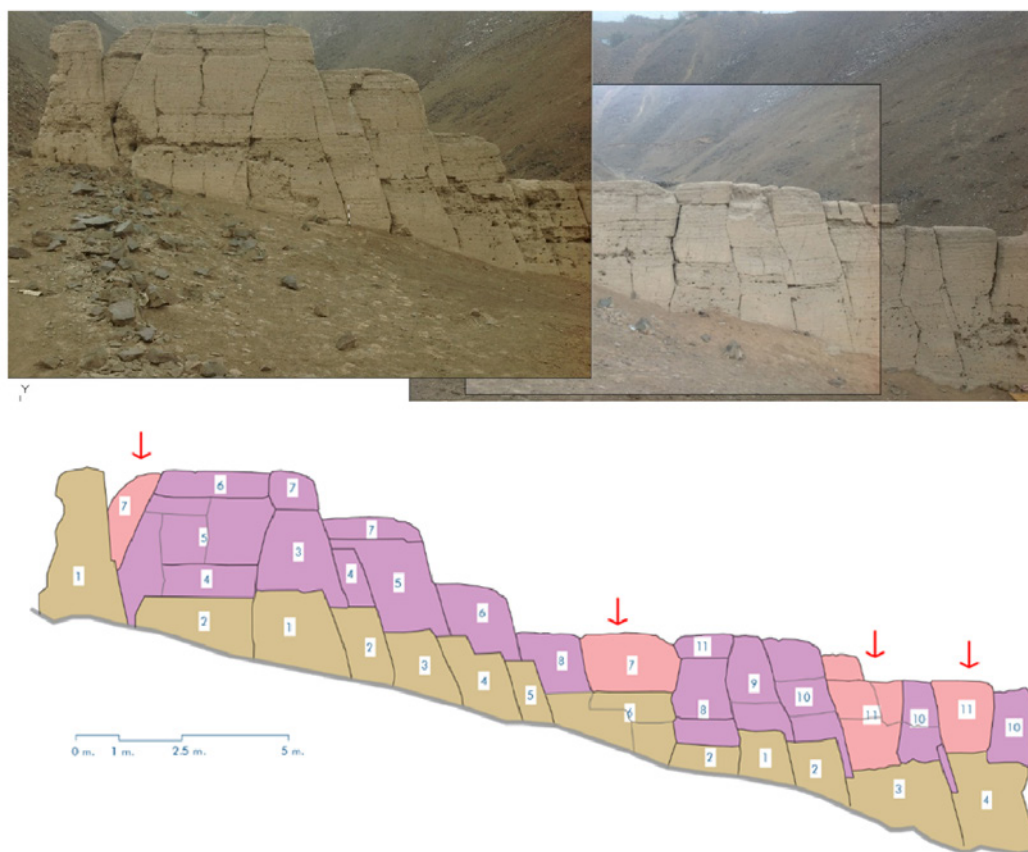


Figura 15. Muro construido en un terreno con un fuerte declive, se indican con colores los tres grandes momentos constructivos y con flechas los muros que actúan como cuñas ajustando en compresión al conjunto de la muralla. Sitio arqueológico Huaca Cerro Respiro. Fuente: [Torres \(2021\)](#).

9.2.5. Caso 5

En la [Figura 16](#) se presenta el análisis estratigráfico de un muro perteneciente al sitio arqueológico Cerro Respiro. Su construcción se basa en una serie de adosamientos de masas de barro que conforman disciplinadamente bloques ordenadores y rellenos entre ellos. Es importante notar, y ese es el aporte de este muro, que los trapezoides iniciales se pueden haber conformado a su vez por eventos constructivos más pequeños. Es importante destacar las variaciones en las dimensiones de los bloques y las diferencias en su ensamblaje, que involucraron hasta cinco fases constructivas, manteniendo siempre la forma trapezoidal y los lados inclinados desde el inicio del proyecto hasta el final, lo que demuestra orden y disciplina en la ejecución de este muro.

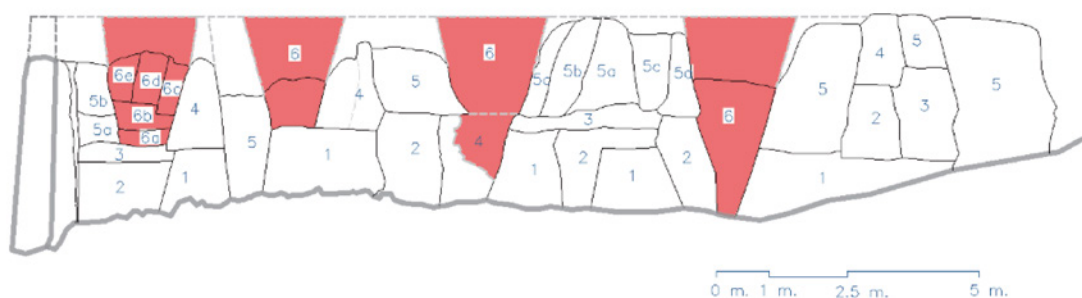


Figura 16. Muro con las 6 fases constructivas identificadas. Huaca Cerro Respiro. Lima. Perú. Elaboración propia.

9.3. Distribución teórica de las fuerzas. Interacción estructural - Hipótesis

En las estructuras estereotómicas de tierra que se han presentado, los bloques adyacentes, aunque sean contruidos de manera independiente, trabajan de forma conjunta dentro de un sistema que distribuye y equilibra las cargas estructurales. Este comportamiento integrado permite que las cargas se distribuyan tanto vertical como lateralmente.

Las fuerzas verticales, derivadas del peso de los elementos superiores, se transmiten hacia abajo, distribuyéndose entre los bloques subyacentes de acuerdo con su geometría y posición. Por otro lado, las fuerzas laterales, propias de los desplazamientos horizontales, como los causados por eventos sísmicos o por presiones externas, encuentran resistencia en el diseño de la estructura, que permite que los bloques se estabilicen mutuamente. Además de soportar compresión, estos bloques interactúan a través de fuerzas oblicuas que fortalecen su conexión y contribuyen a la estabilidad global del sistema.

Cada bloque en estas estructuras está sometido a fuerzas de compresión verticales generadas por las cargas provenientes de los bloques ubicados en la parte superior. Estas fuerzas comprimen el material, estabilizando al bloque mientras su masa y forma sean adecuadas para resistir dichas cargas sin colapsar. La capacidad de un bloque para resistir compresión depende directamente de la cohesión de la masa, de su tamaño y de su distribución de peso.

Este comportamiento no solo habría asegurado la estabilidad de los bloques individuales, sino que también habría optimizado la capacidad del sistema para resistir y distribuir cargas adicionales. La masa de los bloques actúa como un estabilizador natural, reduciendo la posibilidad a movimientos no deseados.

La geometría y disposición de los bloques juegan un papel crucial en esta distribución.

Cada bloque actúa como un “elemento estructural en compresión y transmisión de carga”, facilitando la transferencia de fuerzas hacia otras partes del sistema y reforzando la integración entre los componentes. Esta transferencia múltiple de fuerzas asegura que la estructura pueda adaptarse y resistir en cierta medida cambios dinámicos, como vibraciones o asentamientos diferenciales, al tiempo que mantiene su cohesión. Esta dualidad en su función –recibir y aplicar carga– lo posiciona como elementos indispensables en la estabilidad de la estructura.

10. COMENTARIOS

El análisis realizado a los muros que forman parte de esta investigación demuestra un conocimiento técnico de la materia tierra y su integración con las condiciones ambientales específicas de la región, en este caso la costa del océano Pacífico de Sudamérica.

Por otra parte, en el diseño y la ejecución de estructuras ensambladas con tierra, se ha mostrado que cada bloque ha desempeñado un papel importante en la distribución de cargas y en la estabilidad global del conjunto. Las dimensiones, los ensambles y las uniones evidencia un interesante desarrollo de la geometría tridimensional considerando las propiedades físicas del material, lo que habría permitido a los constructores mejorar la resistencia de sus edificaciones.

Es importante mencionar que existen evidencias previas de otros desarrollos estructurales para poder disipar la energía sísmica, sin oponerse directamente. Se trata por ejemplo de las *shicras*, un sistema de rellenos estructurados cuya resistencia estaba controlada por un enmallado de fibras vegetales.

De confirmarse los atributos aquí descritos, la recuperación de estas técnicas constructivas precolombinas no solo permitiría valorar un legado histórico, sino que también podrían aportar herramientas relevantes para enfrentar los desafíos actuales de la arquitectura sostenible en regiones de alta sismicidad.

11. CONCLUSIONES

La adaptabilidad de la arquitectura antigua a los recursos y el entorno circundante fue fundamental para el desarrollo de las últimas tradiciones constructivas en la costa del Perú precolombino. Estas civilizaciones afrontaron grandes desafíos al construir en un entorno con características climáticas particulares y una geología especialmente intensa debido a su ubicación en el Cinturón de Fuego del Pacífico, lo que en su tiempo habría representado desafíos técnicos en la construcción con materiales como la tierra.

La preservación de estas tradiciones arquitectónicas no solo es importante desde un punto de vista cultural, al conservar el patrimonio histórico de la región, sino también desde una perspectiva práctica. La transmisión de estos conocimientos y habilidades puede ayudar a las comunidades contemporáneas a desarrollar métodos de construcción más seguros y sostenibles, especialmente en áreas propensas a desastres naturales como terremotos. Por lo tanto, la reflexión sobre la preservación de estas tradiciones arquitectónicas sigue siendo relevante en la actualidad, no solo para reconocer el legado de estas antiguas civilizaciones, sino también para aprender de su conocimiento y aplicarla en el mundo moderno.

Estas enseñanzas pueden tener aplicaciones en la arquitectura y el urbanismo contemporáneos, especialmente en los tiempos actuales donde la sostenibilidad y la resiliencia son cada vez más importantes.

El diseño y la disposición de los bloques en estructuras estereotómicas de tierra no son únicamente soluciones constructivas funcionales, sino que también podrían representar una estrategia eficiente de manejo de cargas y estabilización estructural.

A través de la interacción entre los bloques, estas estructuras no solo habrían logrado soportar las fuerzas internas y externas que las afectan, sino que también habrían optimizado su desempeño mecánico mediante un equilibrio natural de compresión y transmisión de cargas. Este funcionamiento, propio de su diseño, explicaría, su durabilidad y resistencia, aún después de siglos de exposición a los sismos.

Es importante señalar que, en la actualidad, la técnica de conformación directa presenta desventajas significativas en comparación con el uso de la tapia, principalmente debido a la prolongada demora en el secado de los muros. Este inconveniente refuerza la hipótesis planteada acerca de la segmentación de las estructuras como una solución para acelerar el secado en un contexto geográfico caracterizado por altos niveles de humedad durante la mayor parte del año. La partición de los muros habría permitido optimizar el proceso constructivo frente a las condiciones climáticas adversas.⁵

Información complementaria ↑

Fuentes de financiación

Esta investigación se enmarca dentro de los objetivos del proyecto de investigación “Earth4Future: Sustainable reuse of earthen architecture and its lessons for contemporary architecture” financiado por el Ministerio de Ciencia e Innovación del Gobierno de España (PID2022-139154OB-I00).

Material suplementario

No procede.

⁵ El arquitecto François Streiff, experto francés en la construcción con tierra, menciona que el problema fundamental de la pared de mano, muro conformado de tierra o *bauge* respecto de otros sistemas constructivos es en especial frente a la tapia es el tiempo que demora el secado del muro.

Disponibilidad de datos

No procede.

Agradecimientos

No procede.

Declaración de contribución de autoría

Henry Eduardo Torres: conceptualización, análisis formal, investigación, metodología, redacción – borrador original.

Camilla Mileto: metodología, supervisión, validación, redacción – revisión y edición.

Fernando Vegas López-Manzanares: metodología, supervisión, validación, redacción – revisión y edición.

Declaración de conflicto de intereses

Los/as autores/as de este artículo declaran no tener conflictos de intereses financieros, profesionales o personales que pudieran haber influido de manera inapropiada en este trabajo.

Declaración de uso de Inteligencia Artificial

No procede.

BIBLIOGRAFÍA

- Agurto, S. (1984). *Lima Prehispánica*. Lima: Municipalidad de Lima Metropolitana.
- Díez Sanchez, A. (2016). *La estereotomía como principio de proyecto. El ejemplo de Steven Holl*. Trabajo Fin de Grado / Proyecto Fin de Carrera. ETS Arquitectura, Universidad Politécnica de Madrid.
- Eeckhout, P. (1999). "Pirámide con Rampa N°III Pachacamac. Nuevos datos. Nuevas perspectivas". *Boletín del Instituto francés de Estudios Andinos*, 28 (1), pp. 169-214. <https://doi.org/10.3406/bifea.1999.1353>
- Flores, I., Vargas, P., Ccencho, J. y Silvera, H. (2012). "Los patios con estructuras escalonadas de Huaca Pucllana: Caracterización y función de una arquitectura ceremonial". *Arqueología y Sociedad*, 25, pp. 57-88. <https://doi.org/10.15381/arqueolsoc.2012n25.e12355>
- Franco, R., Gálvez, C. y Vásquez, S. 2003: "Modelos, función y cronología de la Huaca Cao Viejo, complejo El Brujo". En: Uceda, S. y Mujica, E. (Eds.), *Moche hacia el Final del Milenio. Actas del Segundo Coloquio sobre la Cultura Moche. Trujillo, 1 al 7 agosto 1999*. Lima: Universidad Nacional de Trujillo y Pontificia Universidad Católica del Perú, T. II, pp. 125-177.
- Golvin, J., Jaubert, O., Hegazy, E., Lefur, D. y Gabolde, M. (1990). "Essai d'explication des murs « à assises courbes », à propos de l'étude de l'enceinte du grand temple d'Amon-Rê à Karnak". *Comptes rendus des séances de l'Académie des Inscriptions et Belles-Lettres*, 134 (4), pp. 905-946. <https://doi.org/10.3406/crai.1990.14927>
- Middendorf, E. (1973). *Peru: Observaciones y estudios del país y sus habitantes durante una permanencia de 25 años*. Lima: Universidad Nacional Mayor de San Marcos.
- Miodragovic Vella, I. y Kotnik, T. (2017). "Stereotomy, an Early Example of a Material System". En: *35th eCAADe Conference*. Roma: eCAADe (Education and Research in Computer Aided Architectural Design in Europe) / University of Rome, Faculty of Civil and Industrial Engineering, pp. 251-258.
- Morales-Soto, N. y Zavala, C. (2008). "Terremotos en el litoral central del Perú: ¿Podría ser Lima el escenario de un futuro desastre?". *Revista Peruana de Medicina Experimental y Salud Pública*, 25 (2), pp. 217-224.
- Moseley, M. (1978). "Principios de organización laboral prehispánica en el valle de Moche". En: Ravines, R., *Tecnología Andina*. Lima: IEP – ININVI, pp. 591-599.

- Mujica, E. (2007). *El Brujo Complejo Arqueológico*. Lima: Fundación Wiese.
- Pastor, M. (2017). *La construcción con tierra en Arqueología*. Alicante: Universidad de Alicante.
- Rahm, P. (2020). *Histoire Naturelle de l'architecture*. Vottem: Pavillon de l'Arsenal.
- Reindel, M. (1997). "Aproximación a la arquitectura monumental de adobe en la costa norte del Perú". *Archaeologica Peruana*, 2, pp. 91-106.
- Reindel, M. (1999). "Montañas en el desierto: la arquitectura monumental de la costa norte del Perú como reflejo de cambios sociales de las civilizaciones prehispánicas". *Société Suisse des americanistes, Bulletin*, 63, pp. 137-148.
- Rostworowski, M. (1988). *Historia del Tahuantinsuyu*. Lima: Instituto de Estudios Peruanos.
- Rovira y Rabasa, A. (1897). *Estereotomía de la piedra*. Barcelona: Librería y estampería artística.
- Soto Medina, M. y Vargas Neumann, J. (2015). "Arquitectura prehispánica limeña de los siglos XI al XV: El caso de la conservación de la Pirámide A de Mateo Salado". *Devenir*, 2 (3), pp. 22-44. <https://doi.org/10.21754/devenir.v2i3.262>
- Torres, H. (2017). *Identidad y tradiciones de la arquitectura andina prehispánica. 17º Seminario Iberoamericano de la arquitectura y construcción con tierra*. La Paz: Red Proterra.
- Torres, H. (2021). *Análisis y conservación de muros de tierra modelada en contextos arqueológicos del antiguo Perú*. Valencia: Universidad Politécnica de Valencia.
- Villar Córdoba, P. (1935). *Culturas Pre-hispánicas del Departamento de Lima*. Lima: Municipalidad de Lima.
- Wiltshire, R., Gilbert, D. y Rogers, J. (2010). "Hoover Dam: Construction Milestones in Concrete Delivery and Placement, Steel Fabrication, and Job Site Safety". En: *Hoover Dam 75th Anniversary History Symposium: proceedings*. Las Vegas: American Society of Civil Engineers, pp. 163-188.